

JAIR FERREIRA DE ALMEIDA

UMA PROPOSTA PARA ADAPTAÇÃO DE UMA CÂMERA
CCD NO ORTOPROJETOR WILD AVIOPLAN OR 1 PARA
DIGITALIZAR DIAPOSITIVOS

Tese apresentada como requisito parcial para a
obtenção do grau de Doutor.

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Quintino Dalmolin.

CURITIBA

Novembro de 1997

Almeida, Jair Ferreira de

Uma proposta para adaptação de uma câmera CCD no ortoprojetor wild avioplan OR 1 para digitalizar diapositivos / Jair Ferreira de Almeida.— Curitiba, UFPR, 1997.

123 f. : ilustr. ; 30 cm

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, 1997.

CDD 006.42

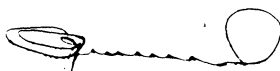
CDU 681.3

**"UMA PROPOSTA PARA ADAPTAÇÃO DE UMA
CÂMERA CCD NO ORTOPROJETOR WILD
AVIOPLAN OR 1 PARA DIGITALIZAR
DIAPOSITIVOS".**

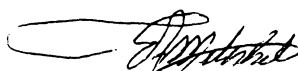
POR

JAIR FERREIRA DE ALMEIDA

Tese aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



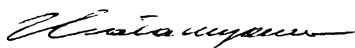
Prof. Dr. QUINTINO DALMOLIN - (UFPR)
Orientador e Presidente



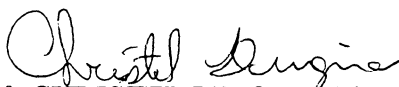
Prof. Dr. EDSON APARECIDO MITISHITA (UFPR) - Membro



Prof. Dr. FLÁVIO BORTOLOZZI (PUC-PR)- Membro



Prof. Dr. KAZUO HATEKAYAMA (CEFET-PR) - Membro



Prof. Dr. CHRISTEL LINGNAU (FURB) - Membro

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos aos professores, colegas e instituições, abaixo discriminados, que ajudaram na elaboração deste trabalho:

- Ao colega Julio Cesar de Menezes, pelas idéias e pelo suporte teórico-prático durante todas as etapas deste trabalho.

- Ao Prof. Dr. Quintino Dalmolin (UFPR), pela orientação, revisão do texto e sugestões para a organização do trabalho.

- À Direção do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, que autorizou a compra dos equipamentos e *softwares* necessários para a pesquisa, e apoiou minha liberação parcial para realizar os créditos e os testes experimentais.

- À Direção da Empresa Aerosul, que permitiu a utilização do OR 1 para a realização dos testes.

- E aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Flavio Bortolozzi, Prof. Dr. Kazuo Hatekayama, Profa. Dra. Christel Lingnau e Prof. Dr. Edson A. Mitishita, que analisaram esta tese e fizeram críticas construtivas, a fim de melhorar sua apresentação.

SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas e Siglas.....	vii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	05
2.1 Aplicações e Vantagens da Imagem Digital na Fotogrametria e Cartografia.....	05
2.2. Aquisição, Processamento e Análise de Imagens Digitalizadas.....	11
2.2.1 Sistema de Visão Artificial - Considerações Gerais.....	11
2.2.2 Sensores.....	14
2.2.3 Unidade de Digitalização da Imagem.....	19
2.2.4 Pré-processamento da Imagem.....	20
2.2.5 Armazenamento da Imagem.....	21
2.2.6 Formatos de Arquivos de Imagem Digital.....	21
2.2.7 Saída da Imagem.....	22
2.2.7.1 Unidades de Saída.....	23
2.2.7.2 Discos Removíveis e Fixos.....	23
2.2.7.3 Discos Óticos.....	23
2.2.7.4 Gravação em Filme.....	24
2.2.8 Problemas na Aquisição de Imagem Usando Câmera CCD.....	25

2.2.8.1	Distorção das Lentes.....	25
2.2.8.2	Alinhamento e Espaçamento entre os Sensores.....	26
2.2.8.3	Quantização.....	27
2.2.8.4	Sincronização do Sinal de Vídeo.....	27
2.2.8.5	Frequência de Transmissão da Câmera CCD e do Conversor A/D.....	30
2.2.8.6	Efeito do Aumento da Temperatura.....	31
2.2.9	Construção de Scanner de Baixo Custo.....	32
2.3	Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1.....	38
2.3.1	Sistema Ótico.....	38
2.3.2	Carro do Fotograma.....	40
2.3.3	Ótica Zoom.....	41
2.3.4	Prisma de Dove.....	42
2.3.5	Escala de Cinzas.....	42
2.3.6	Obturador.....	42
2.3.7	Diafragma e Porta-diafragma.....	42
3	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	43
3.1	Breve Histórico.....	43
3.2	Concepção do Sistema de Digitalização.....	45
3.3	Equipamentos.....	46
3.3.1	Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1.....	47
3.3.2	Câmera CCD.....	47
3.3.3	Placa Digitalizadora.....	48
3.3.4	Monitor Extra.....	50
3.3.5	Computadores.....	51
3.3.6	Suporte da Câmera CCD.....	52
3.3.7	Construção do Cabo Paralelo.....	54
3.3.8	Placa de Cristal-Reseau.....	54
3.3.9	Iluminação do Porta-placa.....	56

3.3.10 Conjunto de Lentes.....	56
3.4 Softwares.....	58
3.4.1 Controle do OR 1.....	58
3.4.2 O Software Global Lab Image, suas Ferramentas e Bibliotecas.....	61
3.4.3 Programa Captura Automatizada.....	65
3.4.4 Compara Foco.....	75
3.5 Orientação do Sistema.....	79
3.5.1 Focalização.....	79
3.5.2 Paralelismo entre os Eixos.....	79
3.5.3 Cálculo da Dimensão do Objeto Real Representado por um Pixel.....	82
3.5.4 Cálculo do Tempo de Deslocamento do OR 1.....	84
3.5.5 Nivelamento do Plano do Sensor da Câmera CCD.....	86
3.5.6 Ajuste da Iluminação do Porta-placa.....	88
3.6 Testes.....	89
3.6.1 Considerações Iniciais.....	89
3.6.2 Precisão Geométrica da Varredura do OR 1.....	89
3.6.3 Qualidade Visual do Mosaico.....	90
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	92
4.1 Capacidade da RAM e do Disco Rígido.....	92
4.2 Placa Digitalizadora.....	92
4.3 Iluminação por Baixo do Porta-placa do OR 1.....	93
4.4 Qualidade Visual do Produto.....	93
4.5 Conhecimento da Posição X (OR 1), Y (OR 1) num Dado Instante.....	94
4.6 Suporte da Câmera CCD.....	94
4.7 Utilização das Ferramentas do Software Global Lab Image.....	95
4.8 Câmera CCD Operando do Modo Não Entrelaçado.....	95
4.9 Diferença na Escala da Imagem Capturada Causada pelo Uso de Lentes na Câmera CCD.....	95

4.10	Custo do Sistema.....	96
4.11	Disposição Física dos Equipamentos.....	96
4.12	Compactação de Dados.....	97
4.13	Inicialização do OR 1.....	97
4.14	Teste sem Usar Lente na Câmera CCD.....	98
4.15	Cabo de Ligação Entre as Duas CPU(s).....	98
4.16	Aceleração e Desaceleração do Mecanismo de Varredura do OR 1.....	98
4.17	Sensor Array Linear ou Matricial.....	99
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	100
5.1	Introdução.....	100
5.2	Quanto à Câmera CCD Instalada no Porta-diafragma.....	100
5.3	Quanto à Câmera CCD Instalada sobre o Porta-placa.....	101
5.4	Sinal para Capturar o Quadro Durante a Varredura.....	102
5.5	Confiabilidade do Mosaico.....	102
5.6	Considerações Gerais.....	102
	GLOSSÁRIO.....	104
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
	BIBLIOGRAFIA.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μm	=	mícron (milésima parte do milímetro)
2D	=	Duas Dimensões
3D	=	Três Dimensões
A/D	=	Analógico Digital
B-8	=	Aparelho de restituição fotogramétrica
CAD	=	Desenho Auxiliado por Computador
CCD	=	Charged Coupled Device
CCIR	=	Consultive Committee International Radio
CID	=	Charge Injection Device
CPU	=	Unidade de Processamento Central
DAC	=	Conversor Digital-Analógico
DOS	=	MS DOS = Disk Operating System (Sistema Operacional)
dpi	=	pontos por polegada
dpm	=	pontos por milímetro
DTM	=	Modelo Digital do Terreno
EIA	=	Associação das Indústrias Eletrônicas (USA)
Gb	=	gigabytes
GLI	=	Global Lab Image
HD	=	Hard Disk (Winchester)
HDTV	=	Entrada de Vídeo de Alta Definição
Hz	=	Hertz
I/O	=	instruções input/output
ITC	=	Instituto Internacional para Levantamentos Aeroespaciais e Ciências da Terra-Holanda
Kb	=	quilobytes

Kbytes	=	quilobytes
KHz	=	quilohertz
LCS	=	Low Cost Scanner
LED	=	Light Emission Diode
LPT1	=	Linha de Comunicação com a impressora: também conhecida como Porta Paralela 1
LUT	=	Look-up tables
mA	=	miliampère
Mb	=	megabytes
Mbytes	=	megabytes
MHz	=	megahertz
mW	=	miliwatts
nm	=	nanômetro (bilionésima parte do metro)
OR 1	=	Ortoprojeto da Wild para produção de ortofotos analógicas
PC	=	Personal Computer
Pixel	=	Picture Element
RAM	=	Randon Access Memory (Memória de Acesso Aleatório)
RGB	=	Separate Red/Green/Blue
ROM	=	Read Only Memory
S/N	=	sinal/ruído
SIG	=	Sistema de Informação Geográfica
SVGA	=	Super Video Graphic Adaptador
TIFF	=	Tipo de Formato de Arquivo
VGA	=	Video Graphic Adaptator
W	=	Watts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema Geral para Visão Artificial.....	14
Figura 2 - Esquema de uma câmera de tubo de raios catódicos.....	15
Figura 3 - Sensor da câmera CCD linear e os registradores da intensidade de luz.	16
Figura 4 - Array da câmera CCD, matricial, e os respectivos registradores.....	16
Figura 5 - Estrutura básica da câmera CCD e do sistema de transferência.....	19
Figura 6 - A influência do alinhamento e espaçamento dos sensores na imagem	26
Figura 7 - Campos pares e ímpares, o quadro e o modo de entrelaçamento..	28
Figura 8 - Efeito da não sincronização horizontal da câmera e do conversor A/D	30
Figura 9 - Efeito do aumento da temperatura. Comportamento das coordena- das X e Y em função do tempo.....	31
Figura 10 - Diagrama esquemático do sistema ótico do OR 1.....	39
Figura 11 - Carro do fotograma e lâmpada na posição de trabalho.....	41
Figura 12 - Diagrama da montagem do sistema com a CCD acoplada no por- ta-diagrama do OR 1.....	43
Figura 13 - Quadro (<i>640 x 480 pixels</i>) capturado, apresentando duas faixas escuras.....	44
Figura 14 - Esquema da montagem do sistema com a CCD sobre o porta-pla- ca do OR 1.....	45
Figura 15 - Os eixos da CCD e da varredura são paralelos, mas não existe um sincronismo perfeito entre o deslocamento e a tomada do quadro.	46
Figura 16 - Regulagem das velocidades do disparador da câmera CCD utiliza- da.....	48
Figura 17 - Arranjo da memória da placa digitalizadora.....	50
Figura 18 - Ligação da CCD com a placa digitalizadora e com o monitor ex- tra.....	51

Figura 19 - Vista em planta e vista frontal do suporte da câmera CCD.....	53
Figura 20 - Esquema da construção do cabo paralelo.....	54
Figura 21 - Placa de cristal-reseau.....	55
Figura 22 - Caixa para suportar a lâmpada que ilumina, por baixo, o porta-placa..	56
Figura 23 - A distância entre a lente e o sensor da CCD é menor do que a distância entre a lente e o objeto real.....	57
Figura 24 - Distância entre a imagem e lente, e entre lente e objeto real necessárias para se obter a imagem do mesmo tamanho que o objeto ($i = o$).....	57
Figura 25 - Prolongador para aproximar a situação $D = d = 2f$	58
Figura 26 - Fluxograma para controlar o OR 1.....	60
Figura 27 - Ferramentas do <i>Global Lab Image</i>	62
Figura 28 - Disposição das imagens no <i>buffer</i> de saída.....	67
Figura 29 - Disposição das imagens no arquivo temporário.....	67
Figura 30 - Sequência dos quadros para junção dos quadros.....	68
Figura 31 - Arquivo temporário.....	69
Figura 32 - Arquivo final.....	70
Figura 33 - Diagrama do funcionamento dos programas.....	72
Figura 34 - Fluxograma do programa Captura Automatizada.....	73
Figura 35 - Fluxograma da Sub-rotina Ajusta Imagem.....	74
Figura 36 - Primeira imagem capturada para verificação do foco.....	75
Figura 37 - A imagem após a aplicação do filtro Sobel.....	75
Figura 38 - A imagem após a aplicação do filtro de linearização.....	76
Figura 39 - A imagem após a aplicação do filtro Sharpen.....	76
Figura 40 - Resultado da focalização que aparece na janela (<i>vídeo</i>).....	77
Figura 41 - Fluxograma do programa Compara Foco.....	78
Figura 42 - Ângulo existente entre os eixos de varredura e os eixos do sensor da câmera CCD.....	79
Figura 43 - Quadros capturados sem o paralelismo entre os eixos da CCD e da	

varredura.....	80
Figura 44 - Placa de vidro com a gravação das cruzes (<i>porta-placa</i>).....	80
Figura 45 - Imagem capturada da cruz n.º 1 para verificar o paralelismo entre os eixos da varredura do OR 1 e os eixos do sensor da câmera CCD.....	82
Figura 46 - Operações para se determinar a dimensão do objeto real representada pelo <i>pixel</i>	83
Figura 47 - Sobreposição de imagem em razão do deslocamento do OR 1 (7mm) ser menor que a dimensão do quadro capturado pelo sensor.....	84
Figura 48 - Os eixos da CCD e da varredura são paralelos, mas não existe sincronismo entre o deslocamento e a tomada do quadro.....	85
Figura 49 - A sobreposição ao longo da varredura no sentido do eixo Y (OR 1) e do eixo X (OR 1).....	85
Figura 50 - Plano do sensor da CCD.....	86
Figura 51 - A linha inferior do plano do sensor está mais distante do porta-placa, que a linha superior.....	86
Figura 52 - A linha superior do plano do sensor está mais distante do porta-placa, que a linha inferior.....	86
Figura 53 - A coluna lateral esquerda do plano do sensor está mais distante do porta-placa, que a coluna lateral direita.....	86
Figura 54- A coluna lateral direita do plano do sensor está mais distante do porta-placa, que a coluna lateral esquerda.....	86
Figura 55 - A coluna lateral direita e a linha inferior do plano do sensor estão mais próximas do porta-placa.....	87
Figura 56 - A coluna lateral direita e a linha superior do plano do sensor estão mais próximas do porta-placa.....	87
Figura 57 - A coluna lateral esquerda e a linha superior do plano do sensor estão mais próximas do porta-placa.....	87
Figura 58 - A coluna lateral esquerda e a linha inferior do plano do sensor es-	

tão mais próximas do porta-placa.....	87
Figura 59 - O centro da cruz está na parte superior da lateral esquerda da tela do monitor.....	87
Figura 60 - O centro da cruz foi deslocado de 7 mm ao longo do eixo Y (OR 1), permanecendo a abscissa X (OR 1). Com isso, o centro da cruz está na parte superior e lateral direita da tela do monitor.....	87
Figura 61 - O centro da cruz foi deslocado de 5 mm ao longo do eixo X (OR 1), permanecendo a coordenada Y (OR 1). Com isso, o centro da cruz se encontra na parte inferior direita da tela do monitor.....	88
Figura 62 - O centro da cruz foi deslocado de 7 mm ao longo do eixo Y (OR 1), permanecendo a abscissa X (OR 1). Com isso, o OR 1 varreu uma área correspondente a um retângulo de 7 mm x 5 mm.....	88
Figura 63 - Deslocamento do mecanismo de varredura do OR 1 sobre quatro nós da placa de cristal- <i>reseau</i> , para verificar sua precisão geométrica.....	90
Figura 64 - Imagem convertida da forma digital para a forma analógica. A digitalização foi feita no <i>scanner</i> Helava DSW 100.....	91
Figura 65 - Imagem convertida da forma digital para a forma analógica. A digitalização foi feita no sistema CCD/OR 1.....	91
Figura 66 - O sensor captura só a parte central da imagem formada após a lente.....	96
Figura 67 - Proposta da disposição física dos equipamentos (<i>vista em planta</i>)..	96
Figura 68 - Vista frontal dos computadores e do monitor externo.....	97
Figura 69 - Sensor com <i>array</i> linear disposto na forma X colunas por uma linha...	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre a escala da ortofoto e da foto original.....	06
Tabela 2 - Variações de tamanho de <i>pixels</i> e armazenamento de memória.....	08
Tabela 3 - Comparação entre características da câmera CCD e da câmera tipo tubo.....	17
Tabela 4 - Comparação entre os conversores A/D.....	20
Tabela 5 - Calibração da placa de cristal- <i>reseau</i>	55
Tabela 6 - Operações acessadas pelas ferramentas do <i>Global Lab Image</i>	63
Tabela 7 - Comandos <i>script</i> do <i>Global Lab Image</i>	64
Tabela 8 - Tempo para processar a imagem.....	66
Tabela 9 - Leituras efetuadas para se determinar a dimensão do <i>pixel</i>	83
Tabela 10 - Coordenadas no sistema de eixos do OR 1 e no sistema de vídeo dos quatro vértices de um retângulo.....	88

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver e testar uma técnica para aproveitar o Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1, adaptando nele uma câmera CCD para digitalizar diapositivos de fotografias aéreas 230 mm x 230 mm. A câmera CCD é adaptada sobre o porta-placa do OR 1 e uma iluminação por baixo dessa placa se faz necessária. Os quadros capturados, justapostos, são posteriormente juntados para se obter a imagem da área total varrida pelo aparelho. Para tanto, desenvolveu-se: um suporte para a conexão da câmera CCD; um procedimento para a orientação do sistema; um *software* para controlar o OR 1; e um *software* para a captura automatizada e junção das imagens. Testes foram realizados e os resultados apresentados indicam a viabilidade do processo.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop and to test a technology in order to improve the Ortoprojetor Wild Avioplan OR 1, adapting to it a CCD camera to digitalize the diapositive of aerial photography of 230 mm x 230 mm. The CCD camera is adapted on the OR 1 plate support and an illumination from below the plate support is necessary. The frames captured, justaposed, are later joined to get the image of the total area covered by the OR 1. The main points of the work are: support for the CCD camera; system orientation; OR 1 control; and automated capture and junction of images. Tests were performed and the results show that this procedure is viable.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais e Levantamento do Problema

O Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1, neste trabalho denominado de OR 1, é um equipamento concebido para produção de ortofotos analógicas, e os principais componentes e funcionamento serão descritos no capítulo 2.

O OR 1 foi colocado no mercado mundial na década 80. No Brasil, foi comercializado a um custo de aproximadamente US\$ 300 000. Mostrou-se adequado, produtivo e eficaz até mais ou menos 1989; porém, desde que as ortofotos digitais se tornaram competitivas comercialmente, por volta de 1990, o OR 1 vem se tornando obsoleto, pois a produção automatizada tem inúmeras vantagens sobre a analógica, tais como: possibilitam maiores facilidades para o processamento da imagem; podem ser produzidas em menos tempo e a um menor custo que a analógica. A dissertação de mestrado, Ortofoto Digital, desenvolvida no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, por ALMEIDA, (1989), apresenta em detalhes as vantagens das ortofotos digitais sobre as ortofotos analógicas. Desta maneira, o OR 1 sofreu considerável desvalorização, podendo um aparelho usado e em perfeito estado de funcionamento ser adquirido por mais ou menos 5% do valor inicial.

Em suma, o problema que se levanta é: como melhorar o aproveitamento do OR 1 para outro fim.

1.2 Objetivo

O tema deste trabalho propõe melhorar o aproveitamento do OR 1, acrescentando a ele *hardware* e *software*, a fim de que possa ser operado como

scanner para digitalizar diapositivos de fotografias aéreas.

1.3 Justificativas

O mercado oferece poucas opções de equipamentos para digitalizar diapositivos de 230 mm x 230 mm, com alta resolução, a saber: DSW 100 da Helava, Zeiss PS 1, RM 1 da Wehrli e o Optronics 5 040.

As tendências da fotogrametria e da cartografia caminham para viabilizar a automação completa e a baixo custo do processo de produção fotogramétrica e cartográfica como um todo. Para tanto, necessitam de equipamentos para digitalizar imagens.

Pesquisas em diversas partes do mundo apontam para uma nova tecnologia, a Cartografia Digital, como sendo a grande evolução na confecção de cartas e de mapas para os mais variados fins.

As técnicas de produção de ortofotos digitais, as estações de restituição digital e o SIG (*Sistema de Informação Geográfica*) fazem parte dessa nova tecnologia e requerem como dado de entrada a imagem digital.

Os recentes avanços tecnológicos, tais como a estabilidade das câmeras CCD, a velocidade e a capacidade de memória dos atuais computadores, fornecem as ferramentas exigidas para tornar realidade a automação nos processos de aquisição de dados em tempo real.

A precisão do mecanismo de varredura do OR 1, que é da ordem de cinco microns, possibilita a construção de um scanner com boa precisão geométrica, e os resultados já obtidos, por HUURNEMAN (1992), em um sistema semelhante, orientam para a possibilidade de se construir um sistema de digitalização usando o OR 1.

O acesso à parte dos programas que comandam o OR 1, a partir da substituição do computador original - DATA GENERAL pelo computador PC 386, permitiu que se tenha controle parcial sobre os movimentos do OR 1.

Além disso, a existência de outros equipamentos OR 1 no mundo, a ausên-

cia de publicações técnico-científicas que abordem este sistema, a modernização do B-8 para a Cartografia Digital, a ociosidade do OR 1, e a preservação das características do OR 1, fazem com que este tema seja investigado.

Em resumo, a importância deste trabalho está fundamentada em cinco pontos, a saber:

1) aproveitamento do OR 1, uma vez que este equipamento possui um mecanismo de varredura com precisão de 5 μm , e atualmente se apresenta obsoleto e ocioso por causa da competitividade das ortofotos digitais;

2) a procura de um *scanner* mais barato para digitalizar, com precisão de 10 microns, diapositivos de fotos 230 mm x 230 mm (os *scanners* comerciais para esta finalidade custam por volta de US\$ 40 000, enquanto o sistema proposto neste trabalho custa aproximadamente 10% daquele valor);

3) o domínio do conhecimento de uma tecnologia de digitalização, através do desenvolvimento de um *software* para capturar os quadros digitalizados e depois juntá-los;

4) a novidade, ou tecnologia inédita, baseada nas publicações dos Congressos Internacionais, e nas entrevistas com técnicos que efetuam a manutenção no OR 1; e

5) o tema provoca a necessidade de novas investigações, como: a) automatização da orientação do sistema, b) testes usando outros tipos de CCD de *array* linear, c) a digitalização da imagem que chega ao diafragma do OR 1, d) reconhecimento de feições, como por exemplo a medição automatizada do *reseau* durante a calibração e os testes de precisão geométrica.

1.4 Método de Execução

Como o OR 1 é dotado de um sistema ótico-mecânico de alta precisão, estabeleceu-se, como objetivo básico desta pesquisa, o seu aproveitamento, adaptando nele uma câmera CCD sobre o porta-placa e a iluminação por baixo deste, para digitalizar diapositivos de fotografias aéreas, de 230 mm x 230 mm. As

características desejadas para o produto final são resolução do *pixel* inferior a 20 microns, precisão geométrica compatível com a finalidade do trabalho e baixo custo.

O sistema desenvolvido neste trabalho visa implementar uma técnica de captura automatizada de quadros (640 x 480 *pixels*), durante o movimento de varredura do OR 1, através de uma câmera CCD. Os quadros capturados, justapostos, são posteriormente juntados para se obter a imagem da área total varrida pelo OR 1. As principais partes desenvolvidas no trabalho são: suporte para CCD, orientação do sistema, captura automatizada, e controle do OR 1.

Para o desenvolvimento deste projeto foi necessário um estudo interdisciplinar, envolvendo Processamento Digital de Imagens, Informática, Engenharia Elétrica, Fotogrametria, e Física.

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, da seguinte forma:

O capítulo 1 apresenta formulação do problema, os objetivos, as justificativas e as partes do desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 2 tem por objetivo reunir informações para fundamentar o desenvolvimento do sistema, e conduzir o leitor a melhor compreender o trabalho. Limita-se à revisão bibliográfica diretamente ligada à concepção do sistema de digitalização, tais como: trabalho semelhante já realizado, mecanismos do OR 1, e tipos e características dos digitalizadores.

O capítulo 3 relata, com detalhes, a concepção do sistema de digitalização, os equipamentos e *softwares* utilizados e desenvolvidos, a orientação do sistema, as técnicas de captura automatizada e de junção das imagens, e, ainda, orienta os testes de precisão geométrica sobre o produto final.

O capítulo 4 analisa os resultados dos testes realizados.

E o capítulo 5, Conclusões, indica a viabilidade do sistema e sugere ações futuras.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Esta revisão apresenta as mais importantes publicações diretamente ligadas aos assuntos, tais como: Aplicações e Vantagens da Imagem Digital na Fotogrametria; Aquisição, Processamento e Análise de Imagens Digitais; e o Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1.

2.1 Aplicações e Vantagens da Imagem Digital na Fotogrametria e Cartografia

A imagem digital é o ponto de partida para a extração automática de dados. Ela é um conjunto de elementos de imagem especialmente ordenados em uma matriz bidimensional, cuja posição pode ser dada por (X, Y) , sendo que a cada elemento de imagem (*pixel*) é associado um tom de cinza, expresso genericamente por $g(X, Y)$.

O desenvolvimento da fotogrametria e da cartografia aponta para a utilização, cada vez maior, da fotogrametria digital que possibilita, num curto espaço de tempo e a baixo custo, o conhecimento da superfície terrestre para inúmeras aplicações, tais como: projetos de barragens, estradas, planejamento das cidades, cadastros urbanos e rurais, controle do meio ambiente, telefonia celular, etc. Na fotogrametria podem ser citadas várias aplicações específicas da imagem digital, como: na produção de ortofotos digitais, na estação fotogramétrica de restituição digital e nos sistemas de informação geográfica (SIG).

Na produção de ortofotos digitais, segundo KONECNY (1979), a principal vantagem do método digital está no tratamento automatizado que se pode dar à imagem. Este tratamento pode ser: impressão da malha de coordenadas terrestres, a inclusão de textos e a homogeneidade dos tons de cinza.

As ortofotos digitais permitem amenizar problemas que ainda hoje persistem na geração das ortofotos analógicas, principalmente os inerentes à perda da precisão geométrica e da resolução em relação aos originais fotográficos (*diapositivos* ou *negativos*).

O tamanho do *pixel* para a digitalização das fotos depende da relação entre a escala da ortofoto e a escala da foto original. Segundo WIESEL (1990), esta relação deve ser de 2,5.

A ampliação do tamanho do *pixel* se faz necessária, geralmente porque o tamanho normal da foto é de 23 cm x 23 cm e a da ortofoto 50 cm x 50 cm (Ver tabela 1).

TAMANHO DO <i>PIXEL</i> (microns)	
Foto	Ortofoto
50	125
25	63
20	50

Tabela 1 - Relação entre a escala da ortofoto e da foto original.

WIESEL também menciona que raras informações são perdidas quando uma foto aérea é digitalizada com tamanho de *pixel* de 50 microns, e que uma ortofoto com *pixel* de 167 microns ainda apresenta qualidade visual aceitável.

E, segundo GAYDOS (1986), resoluções extremamente altas podem ser obtidas quando a imagem original é digitalizada com 10 microns; nesse caso não há descontinuidade de imagem e a precisão está limitada somente pela qualidade do DTM (*Modelo Digital do Terreno*).

Para KEATING (1979), uma ortofoto apresenta qualidade visual aceitável quando é produzida com tamanho de *pixel* de 100 microns.

BÄHR (1988), em seu trabalho, relata que o tamanho do *pixel*, para produção de ortofotos, é um parâmetro básico para a imagem digital. Não existe regra geral para um tamanho de *pixel*. O tamanho do *pixel* implica muitos fatores, tais como: a qualidade da imagem, as aplicações específicas e as restrições de processamento computacional e de armazenamento. Em suas conclusões BÄHR afirma que o tamanho do *pixel* sempre representará uma importante função para a produção de ortofoto, mesmo porque alguns fatores, como o armazenamento de dados, vão se tornar obsoletos. No futuro, o tamanho do *pixel*, dentro de uma cena, será uma função flexível de muitos parâmetros, que vão depender de aplicações específicas.

A apresentação dos sistemas de ortofotos digitais, pelas empresas especializadas, mostra que os custos de produção são competitivos. Além disso, vários outros fatores contribuem para que as ortofotos digitais se tornem cada vez mais importantes para diversas aplicações. Para mais detalhes sobre o assunto, recomenda-se a leitura do trabalho Ortofoto Digital, de ALMEIDA (1989).

Nas estações fotogramétricas de restituição digital se combinam a capacidade de visualização de imagens fotográficas no monitor do computador, em 2 D ou 3 D, e a execução de medições pelos processos fotogramétricos. Nestas estações, o aparato ótico-mecânico praticamente desaparece, substituído pelo *software*, que desempenha o papel de mover a imagem ou a marca flutuante sobre a imagem. Entre as vantagens das estações digitais estão:

- baixo custo comparado aos equipamentos analógicos ou analíticos convencionais;
- técnicas de processamento digital como filtros e aumento de contraste;
- a digitalização é feita diretamente sobre o negativo, e a imagem inversa é obtida invertendo-se o conteúdo do conversor analógico digital da placa gráfica, evitando ou diminuindo os custos de laboratório fotográfico;
- a mesma imagem digital pode ser distribuída para várias estações pela simples transferência de arquivos, aumentando a produtividade;

- ampliação de detalhes;
- captura dos elementos cartográficos planialtimétricos, visualizada em 3 D sobre a imagem do modelo;
- na edição do produto final com imagem tridimensional, maior controle de qualidade; as fases de restituição e de edição podem ser feitas ao mesmo tempo.

Uma das desvantagens dos produtos gerados pelas estações digitais é a menor resolução das imagens digitais em relação às tradicionais em filme. Uma boa qualidade da imagem exige digitalização em *scanner* de alta resolução, levando ao aumento no volume dos arquivos e diminuição da área de visualização no monitor gráfico. Uma fotografia aérea de 230 mm x 230 mm, digitalizada a 800 dpi, o que equivale a um tamanho de *pixel* de aproximadamente 33 microns, ocupa cerca de 50 *megabytes*. Dobrando a resolução para 1 600 dpi, ou 17 microns, o arquivo aumenta para 200 *megabytes*.

Outra desvantagem é que não são muito comuns *scanners* que digitalizam materiais transparentes, e, além disso, apresentam custo bastante elevado.

A revista Repórter 26, Leica (1991) apresenta a tabela 2 abaixo, com o título Precisão Planimétrica, referindo-se à digitalização de fotografias aéreas, com vários tamanhos de *pixel*, e à correspondente necessidade de armazenamento de memória para trabalhos realizados em estação digital.

PRECISÃO PLANIMÉTRICA						
Escala da Foto					Memória	Pixel
dppm	1/5000	1/10000	1/15000	1/20000	Mbyte	µm
11,8	0,30	0,60	0,90	1,20	7,3	85
15,7	0,22	0,45	0,67	0,90	13,0	64
17,7	0,20	0,40	0,60	0,80	16,40	56
19,7	0,18	0,36	0,54	0,72	20,3	51
23,6	0,15	0,30	0,45	0,60	29,2	42
31,5	0,11	0,22	0,34	0,45	51,8	32
M E T R O S						

Tabela 2 - Variações de tamanho de *pixels* e armazenamento de memória.

A respeito das estações digitais, o leitor pode obter mais informações no trabalho Estações Digitais de MENEZES (1997), trabalho apresentado em seminário no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.

No Sistema de Informação Geográfica (SIG), a imagem digital é fundamental para compor o banco de dados. Adiante apresenta-se depoimento de técnicos que se preocupam com essa parte, considerando-a como uma das principais etapas de um SIG.

GROSSI (1994) comenta que o SIG é um conjunto de processos que, através do computador, fazem trabalhos de aquisição, gerenciamento, análise e apresentação de dados de um espaço geográfico. O SIG é fruto do geoprocessamento e tornou-se poderosa ferramenta para tarefas que afetam diretamente desde a mais moderna e complexa instituição, até a vida do simples cidadão. Inúmeras aplicações podem ser citadas nas aplicações de SIG, como nas prefeituras, secretarias de planejamento, institutos de pesquisas, entidades de cadastro, empresas de mapeamento, enfim, usuários convencionais de dados georeferenciados.

CÂMARA (1994) caracteriza a principal função do SIG como sendo a de armazenar, recuperar e analisar mapas num computador. Para ele, a noção de mapa vale também para diferentes tipos de dados geográficos, como imagens de satélites e modelos numéricos de terreno.

Explicita, ainda, as principais funções do SIG como sendo:

- integrar informações espaciais de dados cartográficos, censitários e de cadastramento, imagens de satélites e modelos numéricos de terreno numa única base de dados;
- cruzar informações através de algoritmos de manipulação para gerar mapeamentos derivados;
- consultar, recuperar, visualizar e permitir saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados.

Um SIG é formado por *interface* com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem, e banco de dados geográficos.

CÂMARA (1994), ainda, expõe, no seu trabalho, que são quatro as principais entradas de dados (*gráficos e alfanuméricos*): digitalização em mesa, digitalização ótica, entrada via caderneta de campo e leitura na forma digital, que inclui a importação de dados em outros formatos. E, dentre estes, enfatiza-se sua opinião quanto à digitalização ótica, que é a seguinte: a digitalização ótica por *scanners* é cada vez maior, principalmente com a redução dos custos dos instrumentos de leitura. A tecnologia mais usual é a baseada em câmeras CCD; porém é preciso usar dispositivos de alta qualidade, com pelo menos 300 dpi, para obter resultados aceitáveis na atualização cartográfica.

Ainda sobre o assunto aplicações da imagem digital no SIG, SCARIM (1994) comenta em seu trabalho que o tema digitalização ganha cada vez mais importância no mercado de geoprocessamento. Segundo ele, muitos profissionais ainda não se deram conta de que a aquisição da base de dados é a etapa mais cara e demorada de todo o processo de implantação de um SIG. Além disso, devido à complexidade dos processos, volumes de dados e requisitos de qualidade e precisão impostos pela cartografia, nessa fase as necessidades de mão-de-obra e equipamentos sofisticados são maiores. A possibilidade de cometer erros que possam comprometer o projeto como um todo também aumenta.

As pesquisas nessa área se concentram no desenvolvimento e aplicação de metodologias que reduzam os custos de aquisição de dados e o tempo de implantação no ambiente do SIG, e, a necessidade de equipamentos e de recursos humanos. O aumento da precisão dos dados também é outro aperfeiçoamento buscado na pesquisa.

SCARIM aborda também que, em geral, existem grandes quantidades de mapas, nem sempre adequados em precisão, escala ou informação, ao uso direto num projeto de SIG. Por isso um estudo rigoroso é vital para analisar fatores, como

a técnica a ser usada para a digitalização, considerando precisão, custo, equipamentos e tempo. Para ele, as técnicas para digitalizar podem ser executadas por meio de digitalização manual, usando mesa digitalizadora, e digitalização automática através de *scanner*, que pode ser de mesa, de tambor ou de rolo. O *scanner* de mesa e o de rolo, normalmente, usam câmera CCD.

2.2 Aquisição, Processamento e Análise de Imagens Digitalizadas

Neste subtítulo, procurar-se-á abordar sucintamente os temas ligados à aquisição, processamento e análise de imagens digitalizadas.

2.2.1 Sistema de Visão Artificial - Considerações Gerais

Os sistemas de visão artificial, com auxílio do conhecimento de diversas áreas (*biologia, medicina, comunicação visual, eletrônica, matemática, mecânica fina, engenharia, etc.*), têm por objetivo obter um conjunto de técnicas e metodologias que possam dar suporte ao desenvolvimento de teorias e produtos suficientemente eficientes e confiáveis para aplicações práticas. Cita-se, como exemplo, a automatização dos processos de controle de qualidade, identificação e classificação de produtos e produção de imagens.

Segundo FACON (1993), o processamento e a análise de imagens é uma ciência que permite modificar, analisar e manipular imagens digitais, a partir de um computador. Os algoritmos de processamento de imagens são procedimentos passo-a-passo para otimizar as operações de tratamento de imagens. A estação de processamento de imagens deve fornecer três facilidades: os meios de digitalizá-las, de visualizá-las e de manipulá-las.

Tais considerações supõem que o sistema seja dotado de ferramentas que permitam atingir esses objetivos. Um sistema genérico mínimo de processamento de imagens é constituído de uma parte para aquisição e digitalização de imagens, um dispositivo para armazenar as mesmas, um computador que pode ter acesso a essa imagem, e um conjunto de ferramentas que permita visualizar o conteúdo

da imagem. Então, o sistema adquire, processa e visualiza imagens.

Ainda, segundo FACON, um sistema de visão é constituído basicamente de:

a) Sensores de visão - fornecem uma projeção da cena de trabalho e realizam a aquisição de imagens. Na maioria dos casos, esses sensores são câmeras, sensores eletromecânicos, etc... No caso de uma câmera, um sistema de iluminação pode permitir a obtenção de uma imagem de melhor contraste e de melhor qualidade, reduzindo, portanto, a quantidade de processamentos preliminares.

b) *Hardware* de digitalização de imagens - o alvo deste equipamento é colocar a imagem capturada pelo sensor, na memória. O módulo de digitalização permite escrever de modo eficiente na memória, que pode ser lida pelo computador e pelo módulo de visualização. O módulo de digitalização transforma as imagens contínuas em imagens digitais. O alvo dessa transformação é quantificar a qualidade, o contraste, as diferenças de cores da cena. O digitalizador cria uma imagem digitalizada, representada por uma matriz de números, cujos elementos são chamados *pixels* (*abreviatura de picture element*).

c) Computador - executa os algoritmos de processamento de imagens, permitindo flexibilidade e custos de processamento e de memória relativamente baixos. Os algoritmos são desenvolvidos para, em condições de iluminação, a priori variáveis, possibilitar a escolha da informação adequada nas imagens, a ser interpretada, e a partir da qual serão tomadas as decisões.

O processamento e a análise de imagens é uma ferramenta multidisciplinar e se presta à utilização para fins diversos. Os processamentos mudam muito em função da área de trabalho. Os tratamentos variam sobre as imagens, segundo a natureza das imagens, a qualidade das imagens, o conhecimento inicial do meio de estudo.

Sobre um sistema de processamento e análise de imagens, FACON (1993) afirma que uma estrutura funcional completa pode ser descrita da seguinte maneira:

Aquisição e Digitalização - A imagem do sensor é transformada em imagem digital sobre a forma de tabela de valores discretos, chamados *pixels*.

Pré-processamento - Essa etapa permite corrigir certos defeitos e imperfeições aparecidas durante a aquisição da imagem, que podem ter, como causa, características físicas do sistema e as condições deficientes de iluminação. O pré-processamento, na maioria dos casos, é necessário.

Segmentação - A meta consiste em dividir uma imagem em partes constitutivas. Em uma imagem natural, a segmentação é efetuada pela detecção de descontinuidade (*contornos*) e/ou de similaridade (*regiões*) na imagem. A maioria dos processamentos é baseada na pesquisa dessas entidades que são armazenadas sobre uma forma adequada (*segmentos ou primitivas*).

Representação - O alvo da representação é elaborar uma estrutura adequada, agrupando resultados das etapas precedentes e o armazenamento dos diversos padrões, que contém o conhecimento a priori. A representação é efetuada após a obtenção das primitivas e, às vezes, ao mesmo tempo. Ela permite também medir as propriedades das *formas* resultantes da segmentação.

Interpretação - É a parte mais inteligente do processo de visão por computador; representa o alto nível e permite obter a compreensão e a descrição final do fenômeno inicial. Faz uso do conhecimento a priori do caso estudado e do conhecimento adquirido durante as fases precedentes.

Outro pesquisador, KERN (1992), apresenta o assunto *hardware* para Sistema de Visão Artificial, de outra forma. Para ele, a visão artificial é usada para solucionar problemas num vasto campo de aplicações.

Na maioria das vezes, as tarefas, aplicando visão artificial, são basicamente as mesmas ou, no mínimo, similares. Essas tarefas podem ser sumarizadas como: digitalização e gravação da imagem, pré-processamento da imagem, extração das características, classificação das imagens, e documentação e arquivamento das imagens.

Essas tarefas definem diretamente a necessidade do *hardware* para o sistema de visão artificial.

KERN, em seu trabalho, também mostra o esquema da figura 1 de um sistema generalizado para visão artificial. Continuando, ele explica que, na realidade, os sistemas podem ser mais simples ou mais complexos, dependendo da aplicação.

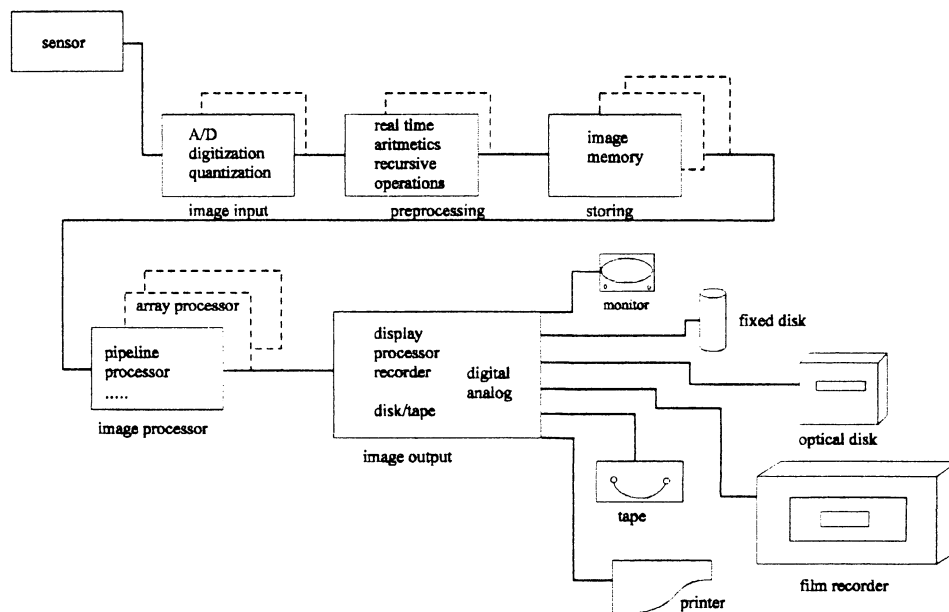


Figura 1 - Sistema Geral para Visão Artificial (extraído de KERN (1992)).

2.2.2 Sensores

Os sensores captam a luz refletida do objeto e possibilitam converter imagens numa representação numérica que serve de dados de entrada para o computador.

A respeito desse assunto, e na tentativa de deixá-lo mais claro ao leitor, transcrevem-se adiante as afirmações de dois especialistas, a saber: KERN (1992) e GRUEN (1987).

Segundo KERN, os sensores mais usados na composição dos sistemas de visão artificial são: câmera de vídeo do tipo tubo, câmera de CCD linear, câmera CCD com *array*, que a seguir são resumidamente descritos.

Câmera do tipo Tubo - Através do vidro do tubo, imagens são projetadas, num meio semicondutor, sobre um alvo - uma camada de transdutor. A luz gera uma carga naquela camada (*anteparo*). Um canhão de elétrons, controlado por unidades de deflexão, varre o anteparo e causa uma equalização de carga, que será sensibilizada como um sinal eletrônico. Esse sinal é amplificado e é modulado com o sinal de sincronização para a forma de sinal de vídeo. O material do anteparo (ou *alvo*) e o projeto do amplificador determinam a qualidade da câmera quanto à:

- distorção geométrica (*motivada pela unidade de deflexão*),
- linearidade do sinal (*função de transferência do amplificador*),
- resolução do tom de cinza (*faixa de sintonização do amplificador e do material do anteparo*), e
- relação sinal / ruído.

A figura 2 mostra o princípio da aquisição de imagem com uma câmera de tubo.

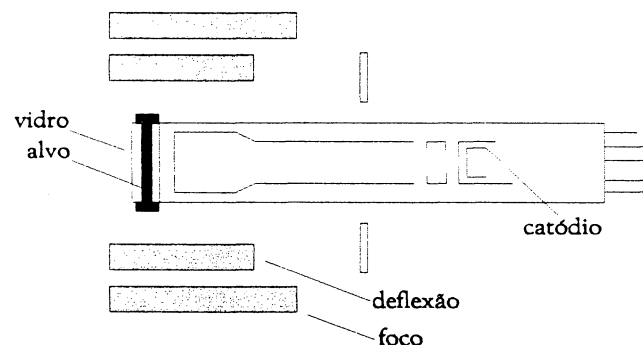


Figura 2 - Esquema de uma câmera de tubo de raios catódicos.

Câmera CCD Linear - O sensor do tipo CCD opera de modo diferente: a linha do sensor contém uma série de pequenos elementos foto sensores implantados num substrato de silício. Essa linha de sensores consiste tipicamente de 256, 512, 1024, 2 048 ou 4 096 elementos (*pixels*). Esses agem como pequenos capacitores de carga, proporcionais à intensidade de luz por unidade de tempo. Os

capacitores são lidos simultaneamente por dois registradores e as informações são transferidas em série para um amplificador de saída. A figura 3 mostra esse princípio.

Os tamanhos típicos das células do sensor são: 5 microns na extensão horizontal, e 10 a 20 microns na extensão vertical.

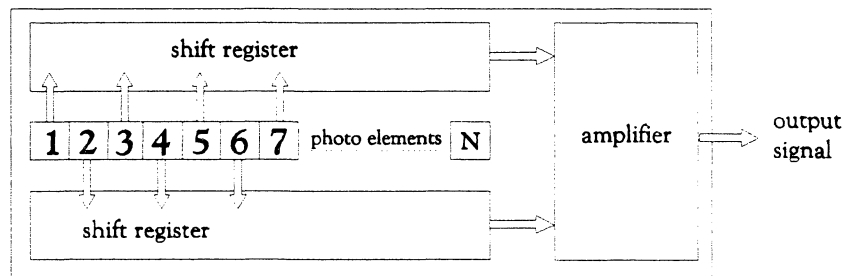


Figura 3 - Sensor da Câmera CCD linear.

Câmera CCD com sensor tipo *array* - Estas câmeras têm os elementos sensores arranjados numa matriz. Para ler a informação da imagem, registradores adicionais de mudança são integrados no *chip*. Em muitos casos, as linhas são lidas no modo entrelaçado; por exemplo, as linhas ímpares fornecem a primeira metade do quadro e as linhas pares a segunda metade do quadro. A figura 4, a seguir, mostra um *array* de uma câmera CCD.

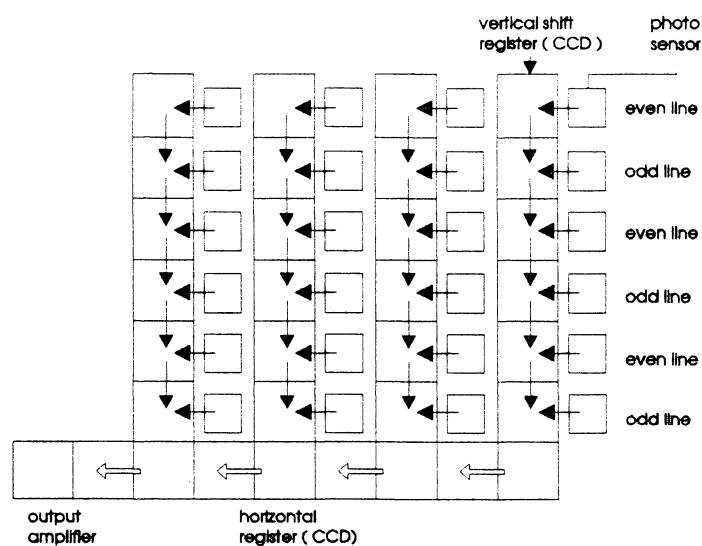


Figura 4 - Array da câmera CCD.

A seguir é apresentada a tabela 3 que mostra algumas especificações das câmeras CCD e das câmeras de tubo.

	CCD	TUBO
dimensão	pequeno	grande
peso	1 - 2 gramas	± 200 gramas
consumo	± 50 mW	± 5 W
resistência ao choque	50 - 80 gramas	< 5 gramas
temperatura de operação	- 10°C - + 50°C	0°C - + 50°C
sensibilidade espectral	420 - 1 100 nm	350 - 1 100 nm
resolução	244 x 190 <i>pixels</i> até até 2K x 2K	até 1 280 linhas

Tabela 3 - Comparação entre características da câmera CCD e da câmera tipo tubo.

O assunto Câmeras Digitais, também, foi amplamente detalhado no trabalho Calibração de Câmera Digital, elaborado por GALO (1993), que expõe, entre outros, os seguintes tópicos: imagem digital (*conceito e formação*), problemas na aquisição da imagem e calibração da câmera, cuja leitura é recomendada para melhor compreensão dos capítulos que seguem.

Segundo GRUEN (1987), as câmeras digitais são dispositivos nos quais a superfície sensora é constituída de elementos fotodetectores ao invés de uma película fotográfica sensível, como é o caso das câmeras convencionais. O seu desenvolvimento deu-se a partir do estudo de elementos semicondutores à base de silício, os chamados *chips*, usados desde 1960. Em função da disposição dos fotodetectores, pode-se dividir os sensores em três grupos: os de varredura ótico-mecânico, os sensores de arranjo linear (*linear array*) e os sensores de arranjo matricial (*area array*). O primeiro grupo pode ser composto de um ou mais elementos sensores, em que a captura do sinal é feita por varreduras através de espelhos rotativos e/ou oscilantes. O sensor de arranjo linear é, como o próprio nome diz, um sensor em que os elementos sensitivos estão dispostos na forma linear

e a varredura se faz através do movimento de toda a câmera, ou da linha de sensores dentro da câmera. Esses dois tipos são mais comuns na coleta de imagens de satélites, a partir de plataformas orbitais. No terceiro grupo, os elementos sensores estão dispostos numa matriz bidimensional. Com base no tipo de leitura/saída (*readout*) de carga, pode ser feita uma outra classificação dos sistemas sensores, ou seja, eles podem ser divididos em : CCD (*charge coupled device*), CID (*charge injection device*), e Fotodiodo.

As câmeras digitais mais utilizadas são as do tipo CCD, geralmente do tipo matricial, e possuem um dispositivo de transferência de carga. Existem diversas maneiras de se referir às câmeras digitais, entre as quais: câmera CCD, câmera matricial (*array camera*), câmera matricial de elementos discretos (*discrete array camera*), vídeo-câmera CCD (*CCD - video-camera*), câmera do estado sólido (*solid state camera*). A imagem digital é um conjunto de elementos de imagem espacialmente ordenados em uma matriz bidimensional, cuja posição pode ser dada por (X, Y), sendo que a cada elemento de imagem (*pixel*) é associado um tom de cinza, expresso genericamente por $g(X, Y)$. Se cada um desses elementos da imagem for armazenado em palavras de n *bits*, o número máximo de tons de cinza, que pode ocorrer na imagem, será 2^n . Em geral essas *palavras* que definem os tons de cinza são 8 *bits*, sendo, portanto, a imagem composta de 256 tons, variando entre 0 e 255. O número de *bits* por palavra está relacionado diretamente com a resolução em tom de cinza ou resolução radiométrica, e com a capacidade de memória do computador. A resolução em tom de cinza está relacionada com o número de tons de cinza que uma imagem pode apresentar e, conseqüentemente, quanto maior esse número, maior será o detalhamento da imagem. Por outro lado, quanto maior a resolução em tons de cinza, maior deve ser a capacidade de memória para armazenar as informações. Por exemplo, uma imagem composta por 512×480 *pixels* (com 8 *bits/pixel*) ocupará um espaço de memória de aproximadamente 246 *Kbytes*. Pode-se ter a idéia do princípio da obtenção da imagem digital a partir do esquema ilustrado na figura 5.

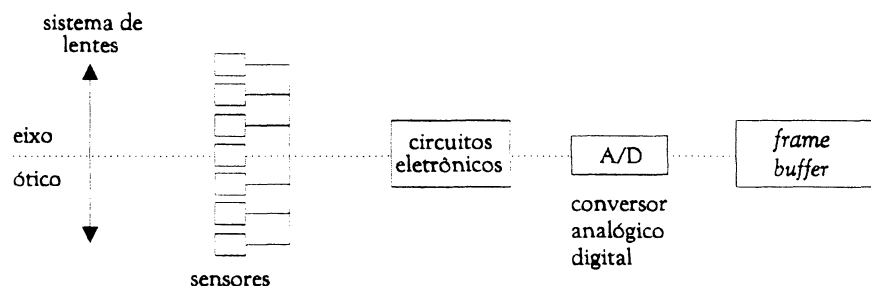


Figura 5 - Estrutura básica da câmera e do sistema de transferência.

A análise da figura 5 permite verificar que o feixe luminoso, ao incidir nos elementos sensores, depois de passar pelo sistema de lentes, provoca a geração de um sinal elétrico proporcional à intensidade de luz incidente. Esses sinais são armazenados em capacitores e passam por um processo de amplificação, em que é produzida uma série de voltagens. Essas quantidades são, então, convertidas em grandezas discretas por meio de um conversor analógico/digital (*conversor A/D*). Em seguida, esses sinais são armazenados no *frame buffer* e, posteriormente, mostrados num *display*.

2.2.3 Unidade de Digitalização da Imagem

O sistema de visão artificial é um sistema digital e, portanto, necessita adquirir seus dados na forma digital. Em alguns casos, a informação da imagem já é capturada na forma digital. Entretanto, a maioria dos sensores fornece um sinal analógico. É tarefa de uma unidade de digitalização converter o sinal analógico em sinal digital (*A/D converters*). De modo geral, algumas diferenças existem entre esses conversores, tais como:

a) Varredura Lenta (*slow scan input*) - Sinais lentos são convertidos em informação digital. Somado a isto, sinais de sincronização são fornecidos para definir os *pixels*.

b) Entrada de Vídeo - Neste caso, os sinais são amostrados de acordo com os padrões de TV americanos e europeus. Geralmente, esta maneira de digitaliza-

ção é chamada de Entrada de Imagem em Tempo Real. Algumas características para o padrão CCIR (*Consultive Committee International Radio*) são: velocidade do quadro 50 Hz, frequência da linha 15 625 KHz, e número de linhas 625.

c) Entrada de Vídeo de Alta Definição (*HDTV*) - Para a digitalização de sinais de alta velocidade. As câmeras de TV de Alta Definição funcionam a 30 MHz e 45 MHz para aplicações padronizadas; para aplicações de *studio* de TV pode-se encontrar padrões como 27 MHz, 54 MHz e 104 MHz. Para todas essas aplicações existem, correntemente, apenas câmeras do tipo tubo. As câmeras CCD são, por causa da sua tecnologia, muito lentas. A tabela 4 apresenta uma comparação entre os conversores A/D: varredura lenta (*slow scan*), vídeo e vídeo de alta definição.

	<i>slow scan</i>	vídeo	HDTV
frequência do pixel	0 - 5 MHz	7,5 - 15MHz	> 15 MHz
típico tamanho do quadro (pixel)	1 K x 1 K a 4 K x 4 K	256 x 256 512 x 512 780 x 540	1 280 x 1 024
tom de cinza (resolução)	6 - 16 bit	6 - 10 bit	6 - 8 bit

Tabela 4 - Comparação entre os conversores A/D.

As imagens digitais são gravadas por meio de periféricos, ligados ao sistema de visão. Em alguns casos, os sistemas de visão possuem uma *interface* paralela de propósitos gerais. Isso serve para que a informação digital entre diretamente no sistema de visão. A mesma *interface* é geralmente, também, usada para dar saída da imagem na forma digital, em altas velocidades. *Interfaces* como esta são sempre construídas sob encomenda para determinada aplicação.

2.2.4 Pré-processamento da Imagem

Os sinais fornecidos pelos sensores são algumas vezes muito pobres e não

adequados para a análise quantitativa e qualitativa da imagem, como é o exemplo das imagens de raio X. Assim é necessário realçar a imagem em termos de: relação sinal/ruído, brilho, contraste, homogeneidade e realce de características especiais.

Ou, ainda, para reduzir a quantidade de dados, podendo para isso ser feito: definição de uma região de interesse, redução da resolução do tom de cinza, e geração de imagens com características especiais.

O rendimento das operações deve normalmente ser sincronizado com o fluxo das informações; por exemplo, as operações são executadas *on line*. Neste contexto, a expressão processamento em tempo real é usada com frequência.

2.2.5 Armazenamento da Imagem

Todos os tipos de tarefas de processamento de imagem, realizadas *off line*, necessitam armazenar a imagem digitalizada. Muitas operações do processamento de imagem não podem ser realizadas em tempo real. Por isso, o sistema de visão artificial necessita ter um acesso rápido ao armazenamento da imagem como uma importante parte do sistema. A imagem, de preferência, deve ser lida e escrita a partir da memória e para a memória em tempo real. A respeito deste assunto, o leitor poderá encontrar mais informações em KERN (1992).

2.2.6 Formatos de Arquivos de Imagem Digital

As imagens digitalizadas são armazenadas de forma que possam ser utilizadas para diversas aplicações. Esses formatos devem ser padronizados, a fim de permitir a manipulação. Os programas gráficos são classificados pela forma que armazenam ou apresentam as imagens, isto é, formato de varredura ou formato vetorial. O formato de varredura é composto por *pixels*. As imagens de varredura podem ser geradas pela varredura de um feixe de elétrons sobre uma imagem que tem determinado padrão, tendo como exemplo a câmera de vídeo. Os *pixels*, numa imagem por varredura, não são necessariamente relacionados uns com os

outros. As imagens capturadas por varredura são usadas, com maior frequência, em apresentações gráficas, onde a qualidade da imagem é muito importante.

A Imagem capturada na forma de varredura, por exemplo num *scanner*, é apresentada mais facilmente num dispositivo de saída de varredura, que pode ser um monitor ou uma impressora gráfica. Além disso, a exibição de imagens capturadas por varredura é mais rápida do que aquelas no formato vetorial, porque a exibição é feita através de dispositivos de varredura; sendo assim não há necessidade, na saída, da conversão de vetorial para varredura.

O formato vetorial usa segmentos de linha orientados (*formas geométricas*), ao invés de *pixels*, para representar uma imagem. As características principais das imagens em formato vetorial são: conectividade e hierarquia. No formato vetorial é fácil verificar quais os segmentos de linha que fazem parte de um objeto.

É muito importante a utilização de imagens em formato vetorial para aplicações em CAD e para produção de mapas. O *plotter* é o dispositivo de saída adequado para o formato vetorial. A conversão do formato vetorial para formato de varredura é feita através de algoritmos de conversão, de fácil programação. O inverso é mais complexo.

Dentre os formatos de arquivos gráficos existentes, usou-se, neste trabalho, o formato *.TIFF*, pelas razões: a) é adequado para imagens capturadas pela forma de varredura, e b) é independente de *hardware*, ou seja, adapta-se à plataforma, por exemplo, tanto da Motorola como da Intel.

2.2.7 Saída da Imagem

Para visualizar os dados da imagem armazenados e processados, equipamentos apropriados são necessários. Em geral, todos os sistemas de visão têm uma saída, ou um arquivo de imagens. Os principais equipamentos usados para dar saída às imagens são: monitores coloridos ou preto e branco, discos removíveis, fixos e discos digitais óticos, gravadores em fita magnética, gravadores em filme, *plotters* e impressoras.

2.2.7.1 Unidades de Saída

Para rever as imagens da informação digital, deve-se reconverter para sinais analógicos, o que é feito através de conversores, que transformam a imagem digital em analógica. Esses conversores são conhecidos como conversores DAC, que possuem amplificadores especiais. Os DACs geram sinais que são transferidos para o monitor do sistema de exibição. Na maioria dos casos, são gerados sinais coloridos - RGB, e, algumas vezes, esses sinais também podem compor os sinais de vídeo. A restauração da exibição é alcançada pela contínua leitura da memória da imagem. Entre a memória da imagem e o conversor DAC, geralmente são entradas tabelas que associam valores de cinza *on line*. Pseudocores e efeitos especiais são realizados dessa forma. A memória exibida, algumas vezes, é a memória da imagem global. Os mais freqüentes formatos para exibição são: 512 x 512 entrelaçados ou não entrelaçados, 1024 x 1024 entrelaçados ou não entrelaçados; e a resolução típica de DACs é de 8 *bits*.

2.2.7.2 Discos Removíveis e Fixos

Este tipo de equipamento de armazenamento é usado para arquivo de dados e de imagens. Em alguns casos, entretanto, os discos são usados como uma memória de imagem adicional, se a construção da memória em semicondutor não é grande suficiente. A maioria dos equipamentos são conectados ao processador de controle do sistema de visão, ou ao computador hospedeiro, e usados como equipamentos periféricos gerais.

2.2.7.3 Discos Óticos

Esse meio é usado principalmente para arquivamento da imagem. A principal característica dos discos óticos é o fato que são normalmente gravados uma vez, e lidos muitas vezes (*WORM = Write Once Read Many*). O conteúdo desses discos não pode ser cancelado. O acesso à informação pode ser visto, mas o espaço ocupado é perdido. O princípio é simples: dentro do disco, de polímero

metalizado rotativo, coberto por duas camadas de vidro ou de plástico translúcido, a informação é gravada por meio de raio laser. Para ler a informação, o raio laser (*com baixa intensidade*) é usado para varrer o disco. Não existem, ainda, normas para avaliar os discos laser. Alguns fabricantes estão fazendo grandes esforços para definir um padrão.

As vantagens dos discos a laser são: o meio de arquivo muito barato, longa resistência, e equipamento forte (*robusto*).

As desvantagens são: acesso vagaroso (*especialmente para a operação de escrever "gravar"*), não possibilita cancelamento da gravação, e a recuperação do *software* se torna complexa.

2.2.7.4 Gravação em Filme

Assim como os equipamentos que produzem cópia em papel, existem os equipamentos que gravam em filme (*papel filme*). Apresentam-se, a seguir, dois tipos de gravadores distintos (*que gravam sobre um filme*):

- 1 - sistemas onde a informação da imagem é gravada a partir de um sinal analógico, e
- 2 - sistemas onde a informação da imagem é gravada a partir de um sinal digital.

Com os gravadores a partir de um sinal analógico, o sinal de vídeo do monitor é transferido para um exibidor plano dentro do gravador. Um sistema de câmera ótica, com vários filtros, expõe o filme. O tempo de exposição e o controle da exibição interna são programáveis na maioria dos casos.

Com os gravadores de filme conectados digitalmente, o filme é exposto através de um raio de luz modulado; por exemplo, o raio laser. A modulação é controlada por um tom de cinza digital ou por cores. O filme, geralmente, é fixado a um cilindro rotativo.

2.2.8 Problemas na Aquisição de Imagem Usando Câmera CCD

Os meios de aquisição de imagens tipo *solid state* têm sido usados por muitos anos. Suas imagens têm sido examinadas tão bem como o subsequente manuseamento dos dados. Os baixos preços das vídeo-câmeras, equipadas com sensores CCD, causaram um grande interesse nesses equipamentos. As vídeos-câmeras são usadas em visão artificial e servem também para medições fotogramétricas. A imagem, geralmente, tem uma saída como um sinal de vídeo analógico. O uso desses sinais geram algumas dificuldades que podem limitar a precisão das medições geométricas.

Segundo DÄHLER (1987), o uso de sinais de vídeo analógicos para aquisição de imagens, a partir de câmeras CCD, apresenta alguns problemas que limitam a precisão.

A imagem digital começa a ser formada quando a radiação eletromagnética, emitida pelos objetos, cruza o sistema ótico da câmera. Os sinais são recebidos pela matriz de sensores e passam, posteriormente, por um processo de discretização. Os principais fatores que afetam a qualidade da imagem são a seguir descritos.

2.2.8.1 Distorção das Lentes

Ocorre quando o raio de luz atravessa um sistema ótico. A perturbação pode prejudicar a qualidade e provocar deslocamentos na imagem. As distorções são decorrentes, basicamente, do processo de fabricação e do fato das lentes terem superfícies esféricas, ao invés de um parabolóide de revolução. As aberrações (*monocromáticas*) causadas por esses motivos são: aberração esférica, coma, astigmatismo, curvatura de campo e distorção.

As quatro primeiras prejudicam a qualidade da imagem, enquanto a última provoca deslocamento na imagem e caracteriza-se por ser radial e simétrica. Além da distorção, existe aquela provocada pelo não alinhamento dos eixos

das lentes de um sistema ótico, denominada distorção descentrada. A distorção radial e a descentrada foram bem detalhadas no trabalho Calibração de Câmera Digital, de GALO (1993).

2.2.8.2 Alinhamento e Espaçamento entre os Sensores

O feixe luminoso passa pelo sistema de lentes e chega a uma matriz de sensores. A matriz de sensores é composta por elementos sensores dispostos em colunas e linhas. A manutenção do espaçamento entre esses elementos sensores, e o alinhamento entre linhas e colunas garantem a qualidade da imagem. A figura 6 mostra a influência do alinhamento e espaçamento dos sensores da imagem.

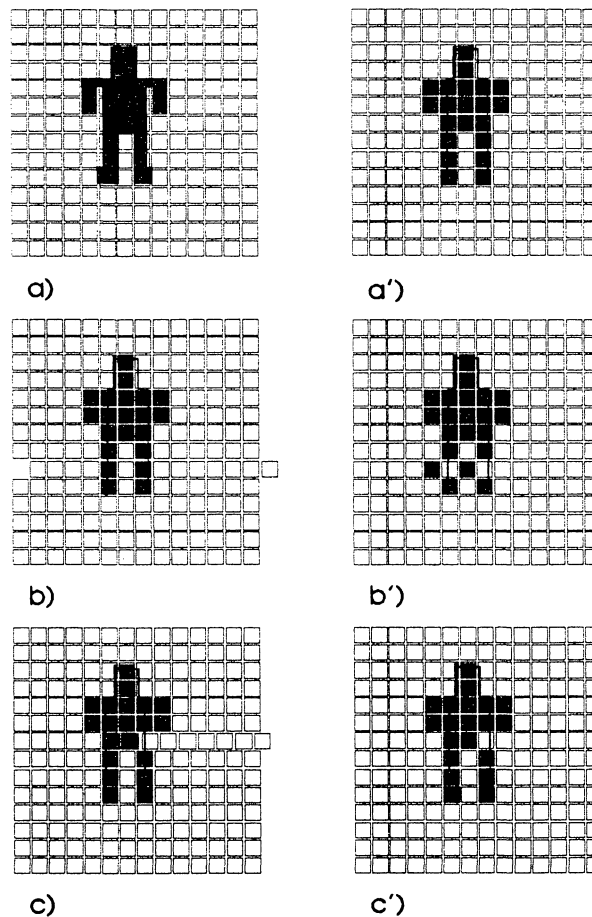


Figura 6 - A influência do alinhamento e espaçamento dos sensores na imagem.

a) projeção de um objeto no plano dos sensores; a') discretização dos sinais que os sensores recebem em "a" ; b) matriz de sensores não perfeitamente alinhada; b') imagem gerada a partir de "b"; c) matriz em que o espaçamento, ao longo de uma linha, é diferente das demais; e c') imagem correspondente a "c". Fonte : GALO (1993).

Esse tipo de erro depende do processo de fabricação e montagem da matriz de sensores na câmera CCD e são erros de pequena magnitude.

2.2.8.3 Quantização

As informações do espaço objeto que estão no campo visual da câmera digital são projetadas numa pequena região - plano focal, que é uma região não contínua. Verifica-se no processo de aquisição de imagem digital, usando câmera CCD, uma etapa da quantização (*discretização*) espacial e uma quantização de tons de cinza (*radiométrica*). A quantização é decorrente da transformação de uma função contínua para uma função discreta.

KAMGAR-PARSI (1989) propôs meios para avaliar o erro de quantização em visão. Segundo ele, o erro máximo que pode ser cometido para uma certa quantidade *A* a ser discretizada, é a metade da unidade de quantização, ou seja, o erro máximo de quantização espacial é meio *pixel*. E, no caso da quantização em tom cinza, o erro máximo é de meio tom de cinza. A minimização desses erros depende menos do processamento de dados, e mais do *hardware*. A minimização do erro de quantização é obtida utilizando-se câmeras com maior resolução, ou seja câmeras com maior número de elementos sensores.

2.2.8.4 Sincronização do Sinal de Vídeo

As câmeras CCD utilizam sinais de vídeo padrão. Diversos são os padrões de sinais de vídeo disponíveis. Segundo GRUEN (1987), os padrões de sinais coloridos de vídeo são os seguintes:

- NTSC (*National Television System Committee*), padrão utilizado na América do Norte, América do Sul e Japão;
- PAL (*Phase Alternating Line*), padrão utilizado na Europa;
- SECAM (*Sequential Couleur à Memoire*), padrão utilizado na França; e
- RGB (*Separate Red/ Green/ Blue*).

E os padrões de sinais monocromáticos de vídeo mais comuns são:

- RS-170 (*derivado do NTSC*), de uso comum na América do Norte, América do Sul e Japão;

- CCIR (*Consultive Committee International Radio*), de uso na Europa.

Os padrões têm características específicas, sendo diferenciados pelo número de quadros por segundo e pelo número de linhas por campo.

Os sinais podem ser entrelaçados ou não entrelaçados. Os padrões NTSC, RS-170 e CCIR são do modo entrelaçado, e o padrão RS-330 é do tipo não entrelaçado.

Nos padrões de modo entrelaçado, a imagem é composta por dois campos, o das linhas pares e o das linhas ímpares, que são transmitidos consecutivamente.

A figura 7 abaixo apresenta os campos pares e ímpares, o quadro e o modo entrelaçado.

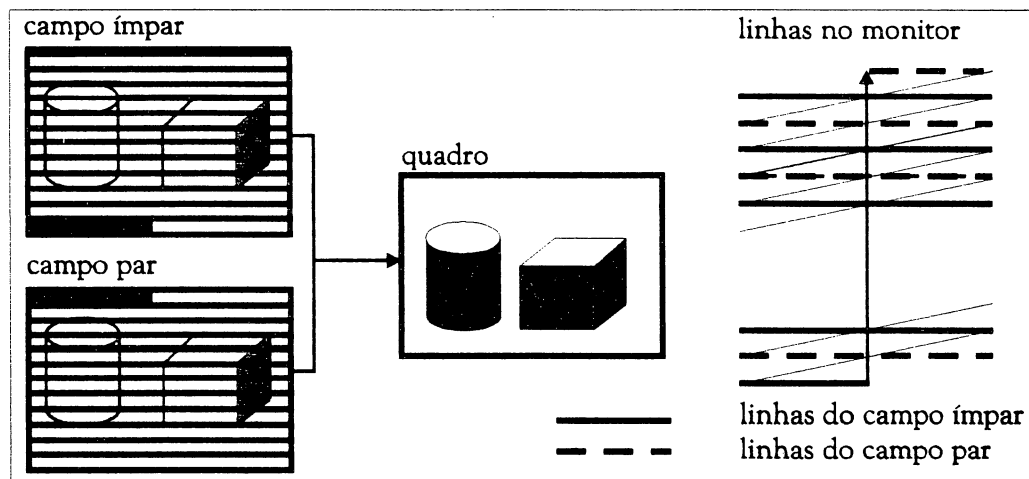


Figura 7 - Campos pares e ímpares, o quadro e o modo de entrelaçamento. Fonte: BEYER (1990).

Ainda, segundo BEYER (1990), a informação transmitida pela câmera é conduzida por meio de um sinal unidimensional, em que o tempo é a variável independente. As transmissões são feitas por linhas, diretamente sobre a escala de tempo, enquanto as informações das linhas seguintes são dadas por varreduras

consecutivas, e a sua variação é feita por incrementos unitários. O sinal transmitido pela câmera deve ser decodificado pelo conversor A/D; logo, tanto a câmera como o conversor A/D devem ser compatíveis neste sentido.

Para transmitir as informações, o sinal deve conter:

- sinal analógico (*informações pictoriais*);
- referências que indicam o nível de cinza zero e a diferença entre o nível máximo e o zero;
- intervalo de amostragem;
- sincronização horizontal (*início de uma nova linha*);
- sincronização vertical (*início de um novo campo ou novo quadro*); e
- indicação do primeiro e segundo campo, no caso de utilização de um padrão entrelaçado.

A importância da sincronização é muito grande, pois indica o começo de um novo quadro, um novo campo ou uma nova linha.

A sincronização horizontal é dada por um pulso, pulso de sincronização de linha, que é emitido pouco antes do início da transmissão das informações de uma linha e tem uma certa duração Δt . O valor exato de Δt não é tão crítico, desde que constante, pois as imagens tomadas com diferentes valores de Δt diferem apenas por uma translação na direção das linhas. Porém, alterações em $\Delta t'$, nas linhas, provocam erros nas coordenadas X, dos pontos dessa linha.

Segundo DÄHLER (1987), as informações radiométricas das imagens são codificadas em voltagens, sendo que alterações provenientes da fonte de alimentação provocam mudanças no sinal, e conseqüentemente perturbações na imagem, como por exemplo no caso de deslocamentos horizontais.

Possíveis erros ou mudanças no nível de detecção, bem como diferenças de fase dos pulsos de sincronização da câmera e do conversor A/D, provocam um deslocamento na direção horizontal, denominado *line jitter*.

A figura 8, a seguir, mostra o efeito da não sincronização horizontal.

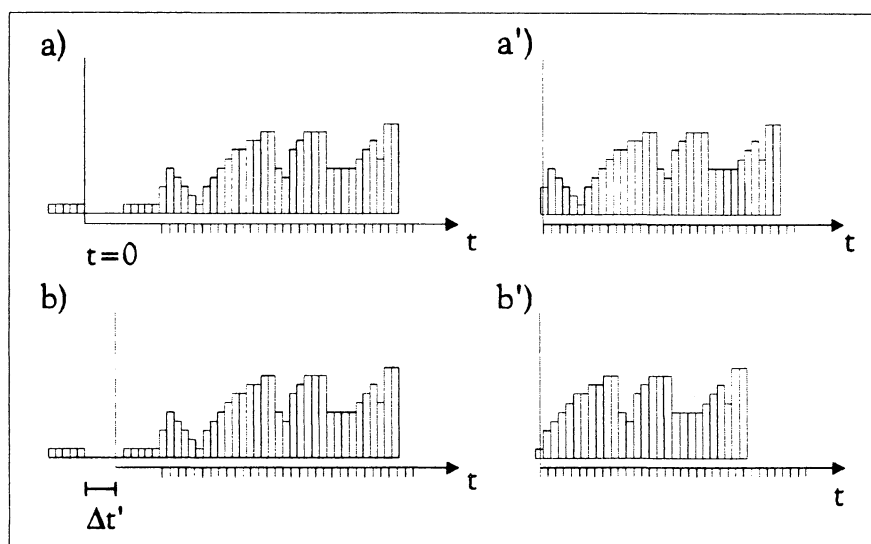


Figura 8 - Efeito da não sincronização horizontal. Em "a", observa-se um sinal corretamente sincronizado; em "a'", o sinal após a discretização. Em "b)", o pulso de sincronização é detectado depois de um certo $\Delta t'$, provocando um *shift* na linha, conforme é mostrado em "b'". Fonte: DÄHLER (1987).

2.2.8.5 Frequência de Transmissão da Câmera e do Conversor A/D

A frequência de transmissão (f_c) dos dados pela câmera não é, necessariamente, igual à frequência de transmissão do conversor A/D ($f_{A/D}$), e essa diferença de frequências provoca uma alteração no fluxo dos dados. Assim, a reamostragem do conversor A/D não é a mesma daquela do sinal que sai da câmera, acarretando uma não correspondência entre os elementos sensores e os elementos da imagem (*pixel*), de uma mesma linha. Essa alteração provoca o aparecimento de um fator de escala no sentido horizontal (S_x).

Segundo LENZ (1986), existem dois fatores de escala diferentes: um na direção X (*horizontal*), e outro na direção Y (*vertical*). Há uma correspondência entre as linhas do *frame buffer* e as linhas da matriz de sensores; isso ocorre devido ao padrão de varredura do sinal de TV. A relação entre o espaçamento vertical dos elementos sensores e dos *pixels* é 1 (um), e o mesmo não ocorre no espaçamento horizontal, o que torna o fator de escala horizontal ser mais um elemento a ser considerado no procedimento de calibração. GALO (1993) detalha, em seu trabalho, esse assunto.

2.2.8.6 Efeito do Aumento da Temperatura

DÄHLER (1987) estudou, também, o efeito do aumento da temperatura durante o processo de aquisição de dados, usando uma câmera HR-600. A câmera e o campo de teste utilizados permaneciam estáveis, e uma série de imagens eram coletadas. Após a coleta das imagens, as coordenadas dos pontos lidos foram observados e a análise do seu comportamento mostrou a existência de efeitos sistemáticos. A figura 9, a seguir, mostra o comportamento para um ponto observado.

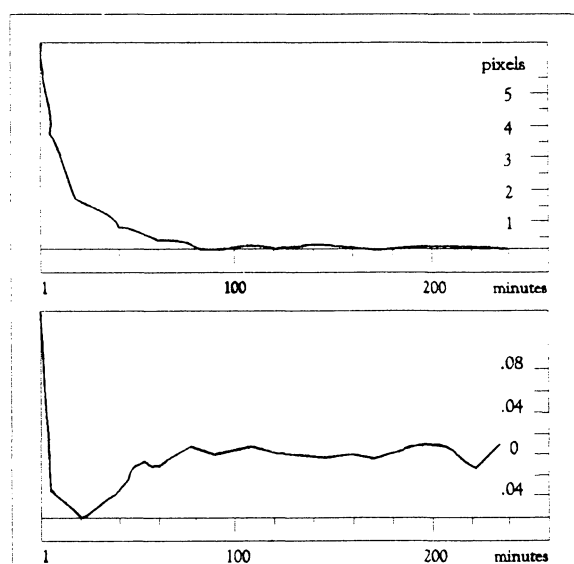


Figura 9 - Efeito do aumento da temperatura. Comportamento das coordenadas X e Y em função do tempo. O gráfico superior corresponde ao comportamento na direção X; o inferior ao Y. Adaptado de DÄHLER.

Nota-se que as imagens adquiridas, no instante em que a câmera é ligada, apresentam translações nas direções X e Y. Com o passar do tempo, as translações diminuem até se estabilizarem em torno de zero. DÄHLER admitiu que esse efeito é provocado pelo aumento da temperatura causado pela dissipação de energia dos circuitos da câmera. As diferenças, observadas, mostraram um componente maior na direção X, sendo que esse efeito pode ser explicado pelo fato de que o aumento da temperatura provoca alteração na oscilação do cristal, ocasionando a mudança da frequência da câmera. Por isso, ele recomenda que

a aquisição das imagens seja feita só após a estabilidade térmica da câmera. Para o caso da câmera dele, a estabilidade ocorreu após duas horas.

2.2.9 Construção de *Scanner* de Baixo Custo

Em 1992, GERRIT HUURNEMAN, do ITC, da Holanda, apresentou no XVII Congresso Internacional de Fotogrametria, em Washington, USA, o trabalho *A Low Cost Scanner for Small Format Transparent Material*. Trata-se da construção de um *scanner* de alta resolução e baixo custo, desenvolvido para a criação de DTM semi-automático, a partir de mapas de linha reduzidos fotograficamente e impressos em material transparente. Para a construção do *scanner* usou uma câmera CCD. O sistema foi denominado ITC-LCS (*Low Cost Scanner*). Na sequência, transcreve-se, resumidamente, o trabalho de GERRIT HUURNEMAN, para fundamentar o trabalho que se deseja desenvolver.

a) Sub-sistema do Computador - O computador utilizado foi o Archimedes 310, com processador de 32 *bits*, que executa 4 milhões de instruções por segundo. A capacidade de memória desse computador é de 4 *Mb* RAM e 512 *Kb* ROM. A capacidade normal de armazenamento está no disco drive de 3,5 polegadas. Um disco rígido também é conectado e tem a capacidade de 20 *Mb*. Um monitor extra foi utilizado para mostrar as imagens capturadas.

b) Sub-sistema da Câmera CCD - HUURNEMAN utilizou a câmera CCD, modelo 0460/00, produzida pela Philips, que tem uma matriz de sensores, do tamanho 256 x 512. A CCD, em conjunto com uma bateria modelo 4460/60 e uma lente C-mount, produz imagens de TV, branco e preto, de acordo com os padrões CCIR (625 *linhas*, 50 *Hz*). A iluminação, de superfícies transparentes, foi obtida por uma lâmpada LED (*Light Emission Diode*) que é montada embaixo da placa-suporte.

c) Sub-sistema Mecânico - As partes que o compõem são: placa-suporte (*porta-fotografias*), mesa-cruz (*sistema de movimento transversal XY*), suporte da câmera, e servomotores.

A placa-suporte, que é de vidro, permite a difusão da luz. É montada sobre uma mesa-cruz. A distância entre a placa-suporte e a mesa-cruz pode variar por meio de quatro parafusos que estão localizados nos cantos da placa-suporte.

A mesa-cruz possui movimentos em duas direções perpendiculares. Pode ser posicionada por meio de uma conexão com um conjunto de carretéis que são dirigidos pelos servomotores. Os carretéis têm o tamanho de 2 mm, cuja precisão depende do material e da maneira como são fabricados. O deslocamento máximo em cada um dos eixos é de 75 mm.

O suporte da câmera é uma haste vertical fixada na armação da mesa. A montagem da câmera possibilita o movimento na direção vertical " Z " e a rotação em torno de dois eixos horizontais perpendiculares (ω e φ).

Os servomotores convertem sinais eletrônicos, vindos de um controlador, em movimentos mecânicos. A cada instante, a direção da corrente, no motor, pode ser trocada. Com o uso dos carretéis e revolução de 400 passos, um movimento planimétrico de 5 micrômetros é alcançado.

d) Sub-sistema Elétrico/Eletrônico - Esta parte do sistema apresenta duas funções principais: controle do motor e placa digitalizadora.

O controlador do motor é produzido pela Thomson Micro Eletronics. Trata-se de um controlador de servomotor inteligente programável, que coordena os movimentos e operações seqüenciais. As operações são instaladas na forma de programa, no controlador, pelo computador hospedeiro. O programa tem um pequeno número de instruções que fornece movimento, parada e posicionamento. Outras instruções controlam a velocidade máxima para início, parada e movimento constante. A ligação entre o computador hospedeiro Archimedes e o processador no controlador do motor é feita via porta RS 423, que possibilita entrada e saída serial.

A placa digitalizadora é da Watford Eletronics. Fornece imagem de vídeo que pode ser capturada e manipulada. Algumas vantagens são fornecidas para as imagens capturadas que podem ser mostradas, rotacionadas e colocadas em

escala para qualquer tamanho e ângulo, salvas para o disco ou impressas. O módulo digitalizador tem 128 Kb de memória *board*, utilizada para armazenar a imagem. As imagens são inicialmente capturadas nesta memória e, então, transferidas para a memória principal do Archimedes, usualmente uma memória *screen*, com possibilidade de alterar a escala e rotacionar a imagem. É também possível usar essa memória com um propósito geral de armazenar a imagem. A placa digitalizadora captura imagens que são armazenadas internamente com 256 x 512 elementos e 64 níveis de cinza. A placa aceita sinais a partir da maioria das câmeras CCD que fornece um sinal de vídeo de 1 volt.

e) Sistema Operacional - O sistema operacional sobre o Archimedes é chamado RISC-OS (*Reduced Instruction Set Computer Operating System*). Está, como muitas outras ferramentas de *software*, localizado em módulos separados na memória ROM. Todos os módulos fornecem certos serviços (*programas*) para o usuário. Um módulo importante do sistema operacional é o gerenciador WIMP (*Window Icon Menu Pointer*). Muitas ferramentas desse gerenciador podem ser usadas para criar programas de aplicação no ambiente *Windows*, possibilitando multitarefas e uma *interface* apropriada com o usuário.

f) Sistema ITC-LCS - Para obter um sistema de alta resolução, foram usadas, na câmera CCD, lentes do tipo utilizado em microscópio. O campo visual instantâneo é limitado, pois a lente está montada numa posição fixa relativa ao *chip* CCD e, além disso, o diâmetro da lente é pequeno. Para digitalizar uma superfície que tem dimensão maior que o campo visual, foi incluído no sistema um processo de varredura por quadros que podem ser processados de diferentes maneiras, antes ou depois de serem juntados.

Para juntar os quadros, utiliza-se normalmente amostragem baseada em pontos de ligação nas áreas de sobreposição. O uso de um padrão *reseau* é uma solução possível para obter pontos de referência. O *reseau* é colocado sobre a superfície do material a ser rasterizado. Essa solução necessita de um processo de eliminação de imagens capturadas. A reamostragem pode ser evitada se os

quadros são capturados de tal maneira que seus adjacentes se encaixem perfeitamente. Para alcançar essa situação ideal, é necessário que o eixo **Z** da câmera seja perpendicular ao plano que suporta o material a ser digitalizado, e que os eixos do sensor estejam paralelos aos eixos do movimento mecânico.

A construção do ITC-LCS permite movimentos ω e φ da CCD e movimentos para o nivelamento da placa-suporte do material. Com esses movimentos é possível posicionar o eixo **Z** da CCD, perpendicular à placa-suporte. Por razões de estabilidade mecânica e complicações com processos de orientação, a câmera não pode ser rotacionada em torno de seu eixo vertical.

Para se criar a imagem completa, o material a ser digitalizado é movido após cada quadro ter sido capturado. O deslocamento é equivalente à dimensão da base de um quadro. E a imagem completa é obtida pela junção dos diversos quadros.

As dimensões do quadro dependem da distância focal da lente e da distância do *chip* CCD até a lente. A dimensão deve ser expressa em passos (dos servomotores), para que a parte mecânica movimente o material a ser digitalizado para a posição da captura de imagem.

g) Orientação do Sistema - O sistema é orientado para proceder da seguinte maneira: seleção de uma máscara, focalização do sistema, nivelamento da placa-suporte do material a ser digitalizado, posicionamento dos eixos da câmera CCD, e cálculo dos parâmetros do movimento do servomotor.

Seleção da máscara - Para a orientação do sistema é necessário colocar uma máscara sobre o vidro da placa-suporte. Para cada lente, uma máscara com tamanho adequado deve ser confeccionada. A máscara serve para posicionar a câmera CCD, testar o foco e nivelar a placa que suporta o filme, e confirmar a escala 1:1 desejada.

Focalização do sistema - Para focar a câmera é necessário variar a distância do objeto até a lente da câmera. A imagem de um objeto pode ser mostrada em tempo real no monitor. Uma variação na altura da câmera vai influenciar

a focalização da imagem. O usuário pode ter uma idéia aproximada sobre a focalização da imagem, pois ela permite realizar movimento de pouca precisão. Para a focalização exata, um método quantitativo é usado. O método é baseado na seguinte função:

$$S = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (a_{i,j} - a_{i+1,j})^2$$

onde:

S = a soma dos quadrados das diferenças entre elementos da coluna ou linha adjacente;

k = o número de linhas usadas;

l = o número de colunas usadas;

$a_{(i,j)}$ = o valor radiométrico daquele elemento.

Se “ S ” alcançar seu valor máximo, a câmera estará em foco.

Nivelamento da placa-suporte - Para nivelar a placa-suporte é necessário colocá-la eqüidistante da lente, em três pontos não colineares. Nivelam-se os quatro cantos da máscara. O procedimento de nivelamento obedece aos seguintes passos:

- 1 - colocar a câmera aproximadamente em foco;
- 2 - nivelar a placa-suporte por inspeção visual;
- 3 - ler o arquivo de dados que descreve as principais posições do objeto;
- 4 - nivelar a placa-suporte nos dois pontos diagonais, usando a focalização mostrada na tela do vídeo;
- 5 - nivelar a placa-suporte em um dos pontos remanescentes; e
- 6 - verificar o foco dos últimos pontos e, se o resultado não for satisfatório, repetir o procedimento.

Durante o nivelamento, o eixo **Z** da câmera não está perpendicular à placa-suporte. Isso não influencia o procedimento, porque o foco é indicado no gráfico, mostrado na tela do vídeo.

Posicionamento dos eixos da câmera - Como já se mencionou, a câmera tem duas rotações (ω e φ) possíveis sobre os eixos não verticais. Essa liberdade de movimentos possibilita corrigir a não perpendicularidade do eixo **Z** da câmera. O procedimento para posicionar os eixos consta de duas partes: uma para rotacionar o ângulo ω e outra para rotacionar o ângulo φ . O posicionamento é baseado no seguinte: dois objetos idênticos, capturados com distâncias iguais a partir da intersecção do eixo **Z** da câmera com a placa-suporte e com a devida focalização, terão valores idênticos. O valor do foco não é necessariamente o máximo. Esse valor pode ser melhorado, variando a distância a partir da placa-suporte até a lente da câmera, através do movimento vertical da mesma.

Depois de ajustar uma das posições para a câmera, inicia-se o mesmo procedimento para acertar a outra posição. Os dois eixos de rotação, anteriormente comentados, não são exatamente perpendiculares, e, por isso, é necessário um procedimento iterativo de rotação ω e de φ , para se chegar a um resultado aceitável.

Cálculo dos parâmetros do movimento - Como já mencionado, o ITC-LCS não tem parafuso a ser ajustado para a rotação da câmera com respeito à direção do movimento do servomotor. Mas o efeito dessa rotação pode ser obtido através do cálculo de uma constante, que vai deixar a direção do movimento, paralelo às bordas da imagem. Essa constante é usada para converter o tamanho do *chip* CCD em passos dos motores. Porém, a relação entre o passo do motor e o tamanho do *chip* deve ser estabelecida. Para calcular essa relação, o nivelamento da placa-suporte e a orientação dos eixos da câmera devem ser feitos como descrito anteriormente. Então, uma única marca-cruz é movida para as quatro diferentes posições do instrumento. Em cada posição, as coordenadas da imagem são calculadas, até a precisão do *subpixel*, e as correspondentes posições do servomotor são gravadas. Depois disso, os parâmetros afins são determinados por ajustamento, usando o processo dos mínimos-quadrados.

Após o nivelamento, orientação dos eixos da câmera e cálculo dos parâmetros de movimento, remove-se a máscara, e o material transparente é colocado embaixo de um vidro. Aí, então, a digitalização dos quadros do objeto pode ser iniciada.

A precisão da geometria do mosaico é checada de duas maneiras: pelo deslocamento horizontal e vertical de um *reseau*, calculando as coordenadas dos cruzamentos em duas diferentes posições na imagem, e pela inspeção visual do mosaico de um mapa de linha.

2.3 Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1

O OR 1 destina-se à produção de ortofotos analógicas, através da reprojeção ótico-mecânica do diapositivo da fotografia aérea. A imagem do diapositivo é corrigida da influência do relevo e da inclinação da foto. Esta correção é feita por meio do deslocamento do diapositivo (*durante a varredura*), do prisma de Dove e da objetiva *zoom*. Na sequência, apresentam-se as principais partes do OR 1, fundamentadas no manual do próprio aparelho.

2.3.1 Sistema Ótico

A figura 10, à página 39, mostra o esquema do sistema ótico.

L_1 é uma lâmpada de iodo-quartzo (*halógeno*) de 24 V e 150 W. O sistema condensador, que se compõe de K_1 , do espelho de luz fria M_1 , e de K_2 , enfoca a luz de L_1 sobre a fotografia aérea (*PH*).

Embaixo da fotografia aérea, encontram-se duas objetivas *zoom* ZB e, entre elas, uma lente de campo $FL1$. A primeira objetiva *zoom* é chamada de *zoom básico*, ZB , com a qual se determina o aumento básico (*total*) da fotografia aérea para a ortofotografia. A segunda objetiva *zoom*, ZS *zoom diferencial*, é dirigida por um servomotor.

Depois de atravessar uma nova lente de campo $FL2$, a luz entra em um

divisor de raios BS1, o qual reflete 95% de luz até a objetiva O1, na trajetória dos raios da ortofotografia.

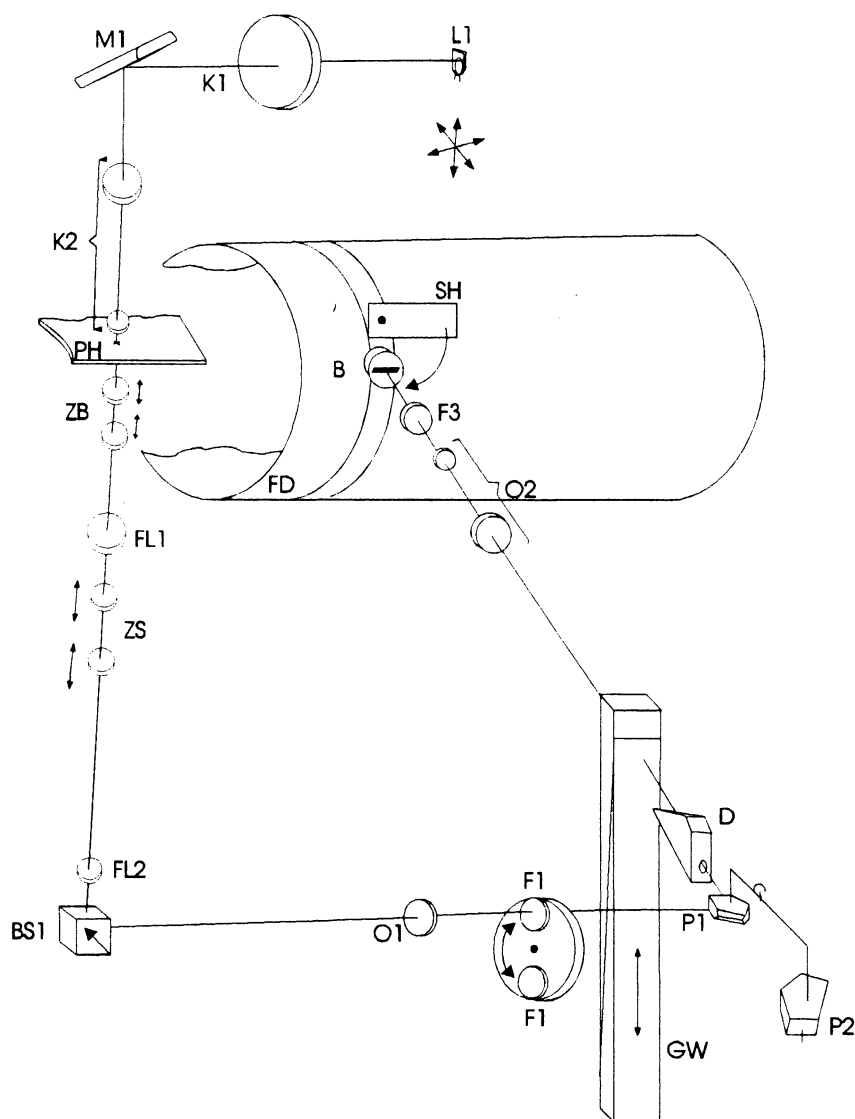


Figura 10 - Diagrama esquemático do sistema óptico do Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1.

F1 e F2 são filtros intercambiáveis. F1 é de cristal incolor, enquanto F2 é um filtro de compensação de cor, que se usa para a produção de ortofotografias em cor. P1 e P2 são prismas intercambiáveis; um tem uma reflexão maior que o outro. Quando esses prismas são trocados, a imagem final resulta invertida. Assim, se a PH é um diapositivo, a ortofotografia, vista do lado da emulsão, pode aparecer invertida.

D é o prisma Dove, servocontrolado, que rotaciona a imagem.

O próximo elemento ótico é a escala de cinzas GW. Trata-se de uma barra de vidro de diferentes densidades ($D = 0$ até $2,48$). Um servomotor controla, automaticamente, a posição da escala de cinzas, na trajetória dos raios, em função da velocidade de exploração. Se essa é aumentada, a escala de cinzas troca automaticamente, para manter uniforme a exposição na ortofotografia.

O2 destina-se a dirigir a luz até a película, que se acha no tambor FD. O filtro F3 é um filtro neutro, de densidades graduadas, que assegura uma iluminação uniforme. SH é um obturador de controle automático (*caso normal*) ou manual.

A pouca distância do plano da película, encontra-se uma fenda (ou *janela*) estreita **B**. Essa fenda define os elementos lineares sucessivos que compõem a ortofotografia.

2.3.2 Carro do Fotograma

É um sistema de movimento transversal XY, que contém um porta-fotogramas (figura 11). O sistema completo é um servomotor digital de circuito fechado. O *input* (*dados de entrada*) do servomotor são as ordenadas Y, calculadas no processador. Os impulsos provenientes do codificador Y são contados e servem de indicador da posição em cada momento. Essa posição é continuamente comparada com a posição dos dados de entrada. Qualquer diferença se converte em tensão elétrica, que alimenta o motor de corrente contínua.

O servo-sistema X é idêntico ao Y.

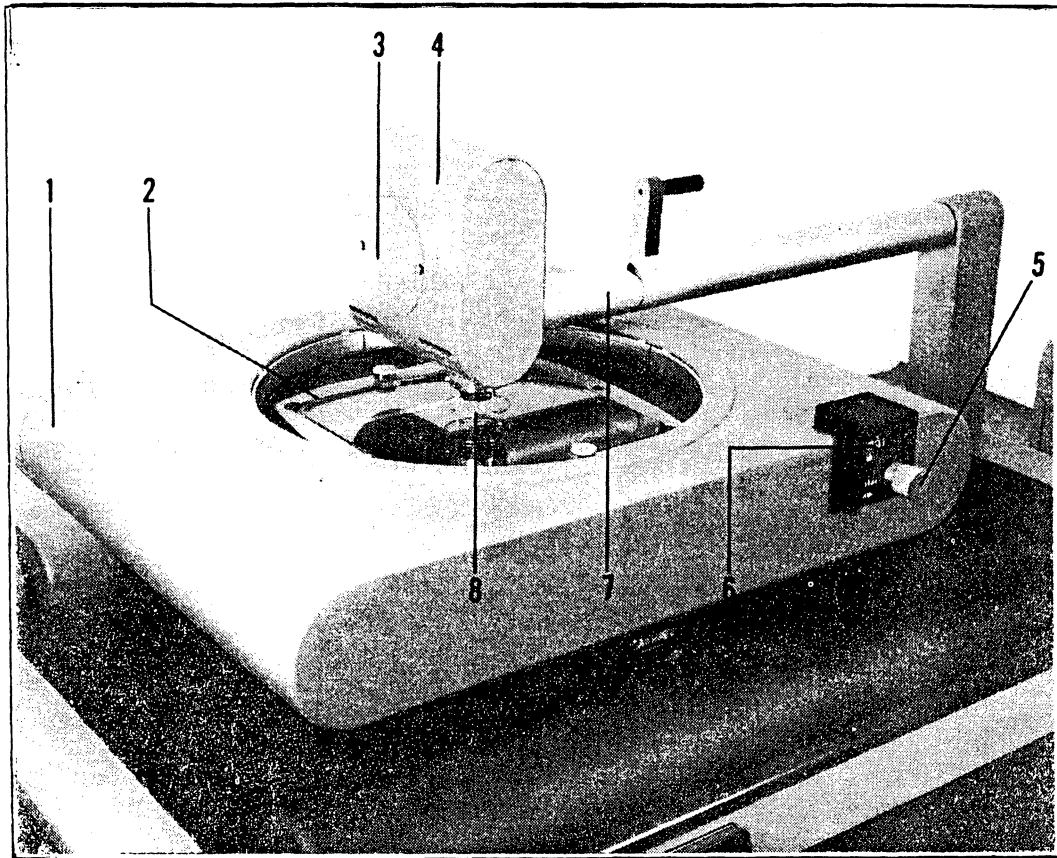


Figura 11- Carro do fotograma e lâmpada do OR 1.

(Lâmpada na posição de trabalho.)

Fonte: Manual do OR 1.

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1 - Carro do fotograma | 5 - Botão K (<i>rotaciona o porta-placa</i>) |
| 2 - Porta-fotogramas | 6 - Leitura de K (<i>ângulo de rotação do porta-placa</i>) |
| 3 - Acesso à lâmpada de halógeno | 7 - Braço orientável |
| 4 - Caixa da lâmpada | 8 - Anel de alarme |

2.3.3 Ótica zoom

As duas objetivas se movem ao longo de um plano vertical, debaixo do porta-fotogramas. Ambas se compõem de dois sistemas de lentes, um superior e um inferior; cada um é acionado simultaneamente por duas chaves precisas. As chaves que movem o *zoom básico* são giradas manualmente com ajuda de um botão seletor para determinar o aumento básico. Esse botão dispõe de uma escala circular e um índice que mostra o aumento básico da fotografia aérea. O tamanho da imagem final na película ortofotográfica pode variar de 0,66 até 6 vezes. O campo de aumento do *zoom básico* é apenas de 0,3 a 3 vezes; mas

o resto do sistema ótico, depois das duas objetivas *zoom*, tem um aumento fixo de 2x, devendo ser levado em conta ao graduar o aumento básico.

O *zoom* diferencial está eletricamente conectado ao *zoom* básico e acionado por um servomotor. As chaves do *zoom* diferencial são idênticas às do *zoom* básico, mas produzem somente um campo de aumento de 0,4 a 2,5 vezes.

2.3.4 Prisma de Dove

O servo-sistema do prisma de Dove, igual ao do *zoom diferencial*, é um sistema analógico com potenciômetro. O ângulo da rotação da imagem é transmitido para o servomecanismo de um conversor digital analógico.

2.3.5 Escala de Cinzas

Um servomotor controla a posição da escala de cinzas, portanto controla a quantidade de luz que a atravessa, em função da velocidade de exploração na ortofotografia.

2.3.6 Obturador

Um pequeno motor faz com que o obturador entre na trajetória dos raios ou saia dela. Normalmente, esse obturador funciona automaticamente. Nesse caso, permanece sempre fechado, salvo durante a exploração. Mesmo assim mantém-se fechado durante o passo de um perfil até o próximo. Não obstante, o operador tem sempre a possibilidade de fechar o obturador, também durante a exploração, ou mantê-lo aberto quando desejar.

2.3.7 Diafragma e Porta-diafragma

A função do diafragma de ranhura (*fenda ou janela*) é definir todos os elementos lineares de imagem que se reproduzem na película. O diafragma é um disco de cristal encaixado num tubo. Os diafragmas são trocáveis. Há quatro comprimentos diferentes de fenda: 5, 8, 12 e 16 mm; e duas larguras de fendas: 0,1 e 0,3 mm.

3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Neste capítulo procurar-se-á mostrar, em detalhes, as etapas desenvolvidas para se obter os propósitos do trabalho, já mencionados no capítulo 1. Os itens abordados são: concepção do sistema de digitalização, equipamentos, *softwares* adquiridos e desenvolvidos, orientação do sistema, junção dos quadros capturados e testes realizados.

3.1 Breve Histórico

Parte dos equipamentos (*placa digitalizadora, câmera CCD e o software GLOBAL LAB Image*) para este projeto foram adquiridos em dezembro de 1995, e os testes foram iniciados em janeiro de 1996. Primeiramente, optou-se por fixar a câmera CCD no porta-diafragma para digitalizar o diapositivo da fotografia aérea e a ortofoto analógica produzida pelo OR 1. Foi, então, construído um suporte para a fixação da CCD. A montagem é apresentada no esquema a seguir.

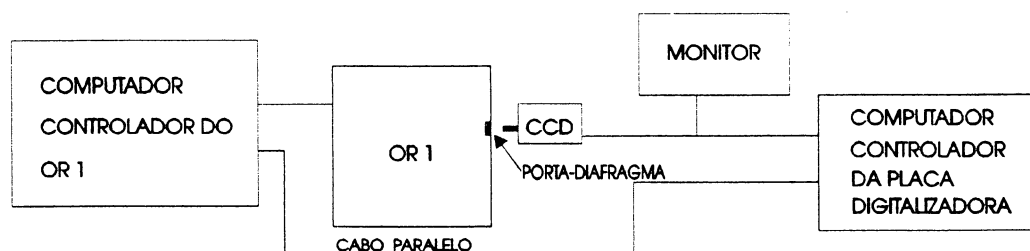


Figura 12 - Diagrama da montagem do sistema com a CCD acoplada no porta-diafragma do OR 1.

Realizados testes preliminares, quatro problemas foram detectados. O primeiro foi o aparecimento de uma sombra escura nas bordas superior e inferior

(figura 13), motivada pela difração da luz ao passar por um orifício retangular existente no interior do OR 1. Esse problema foi solucionado através da captura dos quadros com sobreposição e com o recorte da parte a ser descartada.

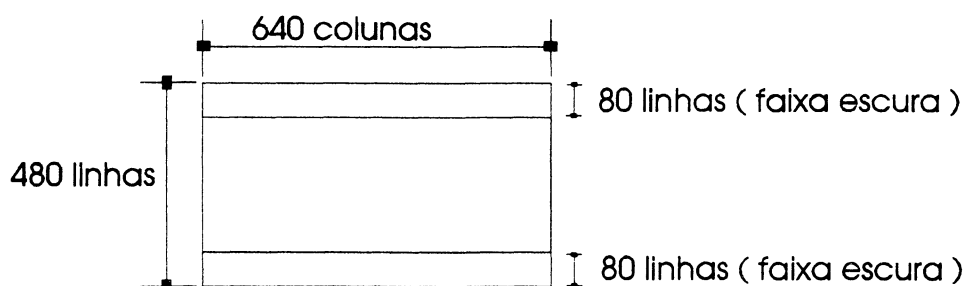


Figura 13 - Quadro (640 x 480 pixels) capturado, apresentando duas faixas escuras.

O segundo problema surgiu quando foi testada uma rotina para comandar a varredura do OR 1 no sentido X, pois o OR 1 se desloca no sentido Y. O OR 1 se deslocou no sentido X conforme programado. Quando, porém, terminava a mudança de linha, o OR 1 avançava para a direita, antes de reiniciar a varredura em X. Esse problema não foi solucionado. O interesse no deslocamento em X era o de se ganhar mais tempo para salvar as imagens capturadas, uma vez que a largura do quadro é maior que a altura.

O terceiro problema apareceu quando se comparou o tempo de varredura no sentido Y, com o tempo de gravação das imagens capturadas. O tempo para varrer a largura da fenda de 0,1 mm foi de 16 milissegundos e para salvar uma imagem foi de 50 milissegundos, trabalhando-se num microcomputador PC. Essa situação inviabilizou, por enquanto, a captura da ortofoto analógica produzida pelo OR 1.

E o quarto problema foi notado na escala da imagem, que chega no porta-diafragma do OR 1. A imagem chega 2 vezes maior do que a original. Este aumento, que não pode ser alterado, é motivado pela construção do OR 1, e é apropriado para a produção de ortofotos.

Pelas razões expostas, abandonou-se a idéia de fixar a CCD no porta-diafragma e partiu-se para outra alternativa, a de fixar a câmera sobre o porta-placa, porém limitando-se o objetivo à digitalização do diapositivo da fotografia aérea de 230 mm x 230 mm.

3.2 Concepção do Sistema de Digitalização

Para atingir o objetivo já mencionado no capítulo 1, concebeu-se um sistema para a captura automatizada (*digitalização*) durante o movimento de varredura do OR 1. Para isso, planejou-se e construiu-se um suporte para montar a câmera CCD sobre o porta-placa do OR 1, sem que o mesmo perdesse a sua função principal (*produção de ortofotos analógicas*). A figura 14 ilustra o sistema.

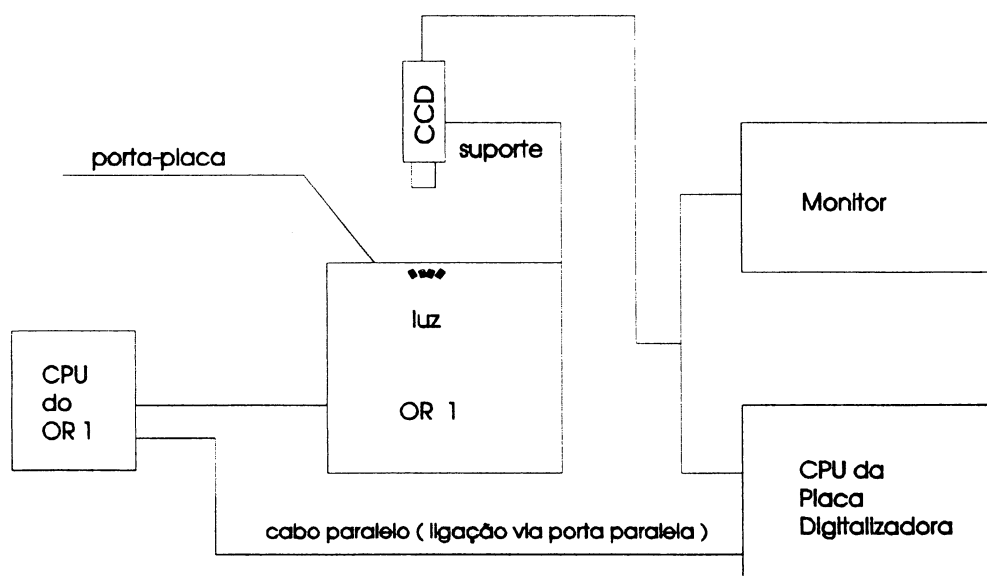


Figura 14 - Esquema da montagem do sistema, com CCD sobre o porta-placa do OR 1.

Na fase de orientação do sistema é de fundamental importância que se consiga o paralelismo dos eixos de varredura do OR 1 (*ver item 3.5*), com os eixos (*linhas e colunas*) do sensor da CCD. A captura dos quadros é feita com so-

breposição de algumas colunas, que serão eliminadas na junção dos quadros. A figura 15 ilustra a captura dos quadros com sobreposição.

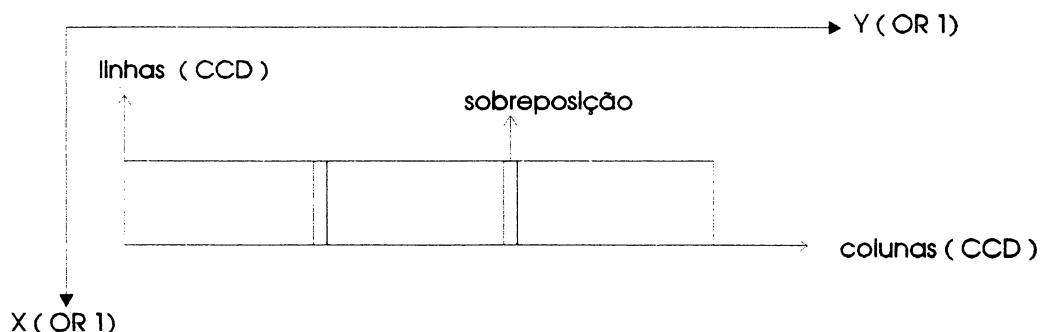


Figura 15 - Os eixos da CCD e da varredura são paralelos, mas não existe um sincronismo perfeito entre o deslocamento e a tomada do quadro.

O mecanismo de varredura do OR 1 foi mantido para se aproveitar a ótima precisão mecânica de que o equipamento dispõe ($5 \mu m$). Foi desenvolvido um *software* que objetiva a captura automatizada dos quadros, enquanto o porta-placa se movimenta. Os quadros são capturados no instante em que a placa digitalizadora recebe um sinal eletrônico vindo do computador que controla o OR 1. Por isso, as duas CPUs são interligadas por um cabo paralelo. O sinal é enviado a cada intervalo de tempo correspondente ao avanço do porta-placa. Esse avanço é de 630 a 635 colunas, para se ter 5 a 10 colunas de sobreposição. Um quadro completo tem 640 colunas, embora o número de colunas do sensor da CCD seja maior que isso. Posteriormente descrever-se-á com mais detalhes os deslocamentos do porta-placa, no sentido horizontal e no sentido vertical.

Os quadros capturados são tratados e mosaicados numa fase de pós-processamento para se obter a imagem digitalizada da área total varrida.

3.3 Equipamentos

Para a montagem do sistema foram necessários os seguintes equipamentos: Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1, Câmera CCD, Placa Digitalizadora, Monitor,

Computador, Suporte da CCD, Cabo Paralelo, Placa de Cristal-Reseau, Iluminação do Porta-placa, e Conjunto de Lentes.

3.3.1 Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1

Este equipamento já foi descrito detalhadamente no capítulo 2, e é o objeto principal de estudo, pois se busca melhorar seu aproveitamento.

3.3.2 Câmera CCD

A câmera CCD utilizada foi a modelo KP-M1, para imagem branco e preto da Hitachi Denshi Ltda, 12 Volts \pm 1 V, 210 mA, com sensor de 640 colunas e 480 linhas. O tamanho do sensor é de 8,8 mm x 6,6 mm. A captura da imagem é feita de modo entrelaçado, ou seja, captura todas as linhas ímpares e depois captura todas as linhas pares. Essa câmera CCD possui várias velocidades de captura; porém trabalhou-se com a menor delas, ou seja, 30 quadros por segundo, por dois motivos: a) foi a velocidade que forneceu melhor qualidade radiométrica da imagem, e b) a placa digitalizadora consegue digitalizar, no máximo, 30 quadros por segundo. A câmera apresenta outras características como:

- Total de *pixels*: 410 000 (ou para o padrão CCIR, 490 000);
- Dimensão: 44 mm (*largura*), 29 mm (*espessura*), 72 mm (*comprimento*);
- Massa: 120 g;
- Tamanho do *pixel*: 11,0 (H) x 13,0 (V) μ m, no sistema EIA;
11,0 (H) x 11,0 (V) μ m, no sistema CCIR;
- Tipo de lente: C-mount;
- Número de linhas horizontais: 525 linhas de TV (*sistema EIA*);
625 linhas de TV (*sistema CCIR*);
- Temperatura de operação: - 10° C até 50° C.

A velocidade do disparador da câmera CCD pode ser alterada conforme mostrado na figura 16.

com a placa DT 55 também pode ser mostrada, em tempo não real, num sistema de monitor VGA.

As imagens capturadas podem ser mostradas com resolução de 640 x 480 *pixels*, e 256 níveis de cinza. Este número de *pixels* e níveis de cinza produz uma alta definição. Segundo o manual da placa digitalizadora, os *pixels* quadrados estão livres de distorções geométricas.

A placa DT 55 contém tabelas LUT (*look up tables*) de entrada e de saída para o processamento de imagens em tempo real. O acesso para isto é feito através de *software*.

A imagem pode ser adquirida usando o *software* de aquisição GLOBAL LAB para o ambiente *Microsoft Windows*, ou usando um *software* aplicado no ambiente DOS.

Para instalar e usar a placa digitalizadora DT 55 necessitou-se dos seguintes equipamentos e programas:

- Microcomputador PC,
- Cabo EP 277 que serve para qualquer tipo de conexão,
- Câmera CCD,
- Monitor externo (*RS-170 RGB*),
- *Software* de aquisição GLOBAL LAB versão *Windows 3.1*, ou versão mais recente.

A placa DT 55 digitaliza um sinal de vídeo e armazena uma imagem (*um quadro*) na memória da placa. A placa pode apresentar a imagem em RGB ou a imagem monocromática. Pode também digitalizar imagens individualmente ou continuamente na mesma taxa que a câmera as produz, ou seja, 30 quadros por segundo. A memória de armazenamento da placa possibilita armazenar uma imagem (*um quadro*).

O sinal é convertido em 480 linhas x 640 colunas x 8 *bits* por *pixel*, para a versão 60 Hz. A informação 8 *bits* para cada *pixel* representa uma das 256 possibilidades de níveis de cinza.

A placa é provida de uma memória de 384 Kb. A memória é organizada com 1 024 *pixels* x 512 linhas x 8 *bits*. O sinal digitalizado pode ser acessado através de instruções I/O sobre a placa mãe do computador.

Quando se usa a placa DT 55, configurada para operar em 60 Hz, a imagem é dividida numa grade de 480 linhas x 640 colunas. O tamanho da imagem corresponde ao formato normalizado de televisão, que apresenta somente 480 linhas. A memória adicional não usada é localizada nas últimas 384 colunas e nas últimas 32 linhas da memória. Essa parte da memória, não utilizada, não pode ser acessada ou modificada.

A figura 17, a seguir, mostra o arranjo da memória da placa para operar em 60 Hz

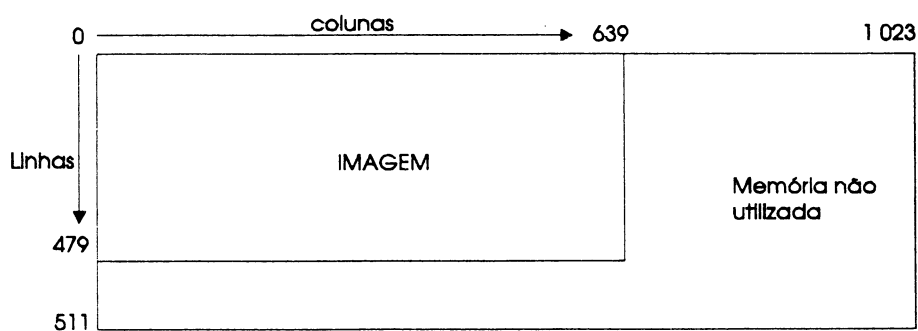


Figura 17 - Arranjo da memória da placa digitalizadora.

3.3.4 Monitor Extra

Além do vídeo SVGA do computador, hospedeiro da placa digitalizadora, foi também utilizado um monitor extra, da SONY, 14 polegadas, para visualizar, em tempo real, os quadros capturados e para facilitar a orientação do sistema. Um cabo liga a câmera CCD até a placa digitalizadora, e, uma derivação desse para o monitor, conforme ilustra a figura 18 a seguir.

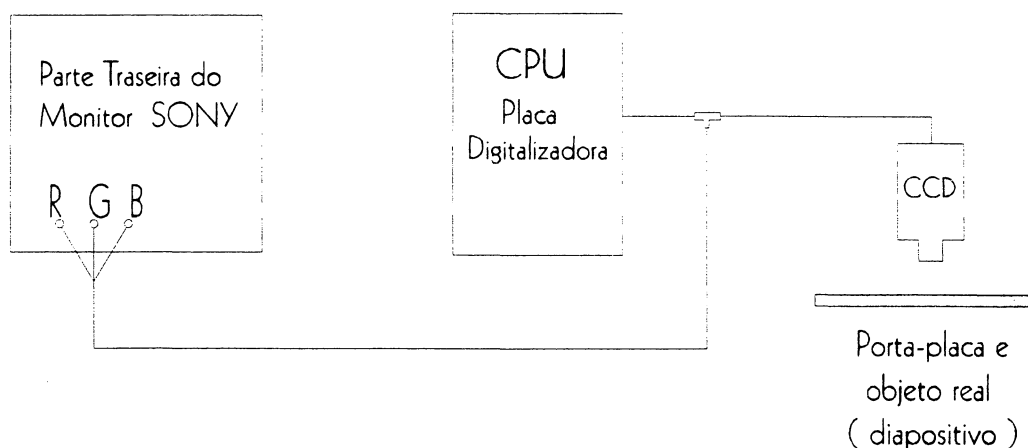


Figura 18 - Ligação da CCD com a placa digitalizadora e com o monitor extra.

3.3.5 Computadores

a) Computador que comanda o OR 1

Até 1992, o OR 1 era comandado pelo computador *Data General 2000*. Naquele mesmo ano foi modificado para operar com um microcomputador PC.

A substituição do computador facilitou e, praticamente, viabilizou a realização deste trabalho, pois, com o computador *Data General*, seria mais complexa a elaboração dos programas para realizar os movimentos necessários, a fim de se obter a orientação do sistema; além do que, o *Data General* opera com rolo de fita magnética, o que dificultaria as operações de modo geral.

O microcomputador PC, que substituiu o *Data General*, além de hospedar *hardware* e *software* que comandam o OR 1, também comporta o programa ENVIA SINAL, responsável por enviar para o outro computador, que hospeda a placa digitalizadora, o sinal para capturar um quadro num certo instante.

b) Computador que hospeda a placa digitalizadora

Trata-se de um microcomputador PC, para controlar a placa digitalizadora e hospedar todos os *softwares* de Processamento e Análise da Imagem

Digital. Suas principais características são 32 *Mb* de RAM, 1,2 *Gb* de memória em disco rígido, velocidade de 100 *MHz*.

3.3.6 Suporte da Câmera CCD

Esta peça foi confeccionada usando o metal latão e serve para fixar a câmera CCD sobre o porta-placa do OR 1. Ela permite que a câmera CCD faça os seis movimentos conhecidos da fotogrametria (X , Y , Z , ω , ϕ , K) de rotação e translação. Esses movimentos servem para se obter a melhor focalização; o paralelismo entre o plano do sensor da câmera CCD e o plano do diapositivo; e ainda para se obter a coincidência dos eixos de varredura com as linhas e colunas do sensor. Esta peça é presa no suporte da lâmpada do OR 1. A figura 19, na página seguinte, mostra uma vista em planta e uma vista frontal do projeto do suporte da câmera CCD.

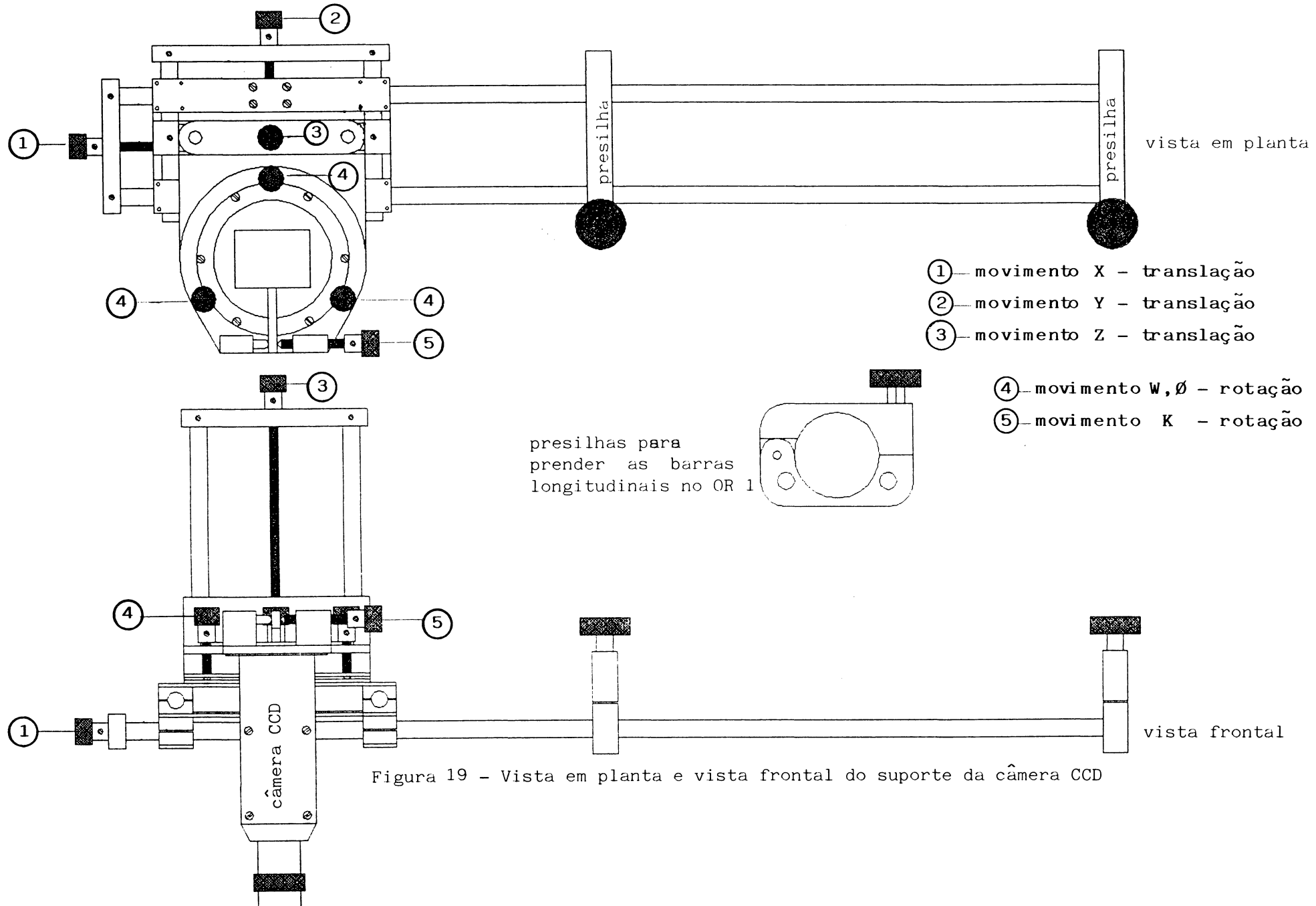


Figura 19 - Vista em planta e vista frontal do suporte da câmera CCD

3.3.7 Construção do Cabo Paralelo

Usou-se um cabo paralelo para unir a CPU do OR 1 com a CPU da placa digitalizadora, a fim de enviar um sinal para a captura da imagem.

Primeiramente, tentou-se usar o cabo paralelo da forma como é adquirido no mercado, ou seja, com todos os 25 pinos interligados. Porém, dessa forma não se obteve sucesso, pois nem todos os pinos podem ser usados como entrada e saída de dados. De posse de literatura técnica sobre portas paralelas, resolveu-se utilizar apenas o número de pinos necessários à comunicação desejada.

Assim, foi construído um cabo paralelo em que apenas 5 pinos são interligados. A figura 20 abaixo ilustra as ligações realizadas no novo cabo.

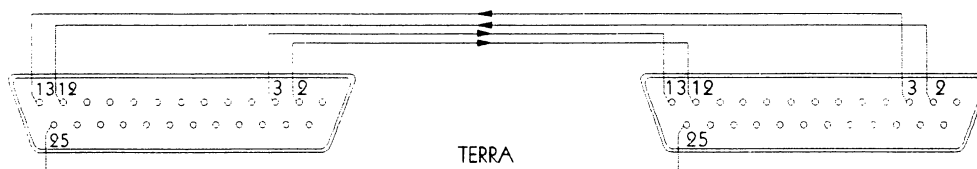


Figura 20 - Esquema da construção do cabo paralelo.

Como se pode observar, os pinos 2, 3, 12 e 13 funcionam unidirecionalmente, sendo os pinos 2 e 3 (endereços 278 h, 378 h ou 3 BCh) usados para o envio, enquanto os pinos 12 e 13 (endereços 279 h, 379 h ou 3 BCh) são utilizados para o recebimento de informações. O pino 25 funciona para equalizar o terra das duas portas, condição necessária para o correto funcionamento da comunicação.

3.3.8 Placa de Cristal-Reseau

Esta placa possui a gravação de uma malha quadrada de 20 mm. Ela serve para auxiliar nos testes de precisão geométrica do mosaico.

A figura 21 e a tabela 5 mostram o formato da placa de cristal e as coordenadas dos seus pontos calibrados.

GRID PLATE TYPE N.º 116 765

Position of 9 calibrated grid points as seen on the graduated surface

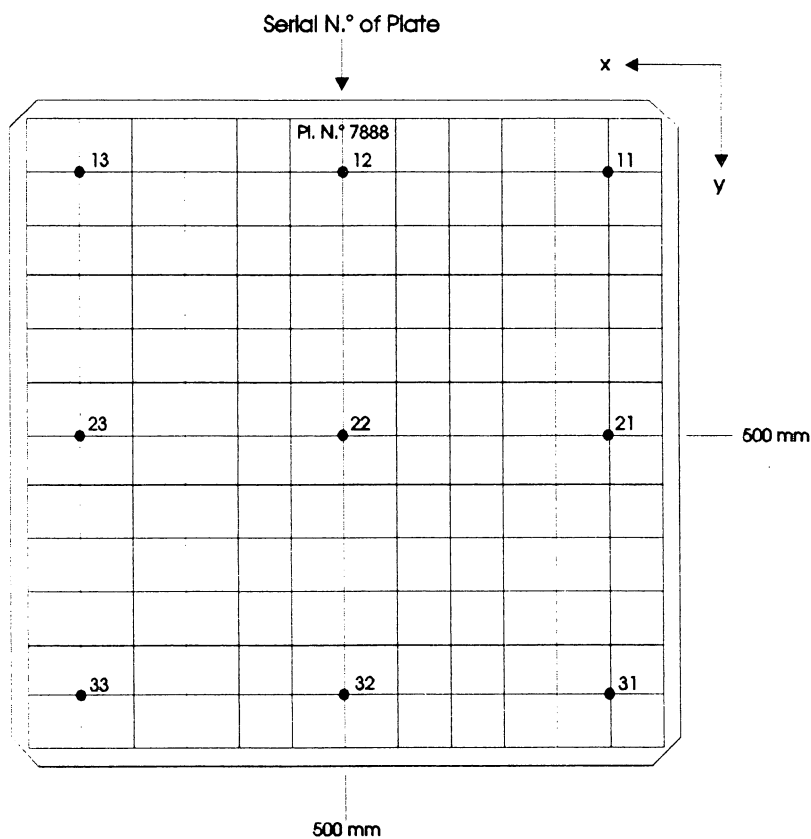


Figura 21 - Placa de cristal-reseau.

GRID PLATE MEASUREMENT				
EDV - N.º: 116 765		PLATE - N.º: 7 888		DATE : 84/05/07
FINAL COORDINATES		(MM) AND ERRORS MICROMETER :		
POINT	X	DX	Y	DY
11	400 000	.1	400 000	.2
12	500 000	-.4	400 000	-.3
13	600 000	.2	400 001	.8
21	400 000	-.3	500 000	-.0
22	499 999	-.6	499 999	-1.1
23	600 000	-.0	500 000	-.1
31	400 000	.4	600 000	-.0
32	500 000	.4	600 000	-.2
33	600 000	.3	600 001	.7
MSE OF MEASUREMENT : MX = .2 MY = .2				
MSE OF COORDINATES : MO = .5				

Tabela 5 - Calibração da placa de cristal-reseau.

3.3.9 Iluminação do Porta-placa

Uma lâmpada de 15 W e 120 V, controlada por um potenciômetro, foi instalada por baixo do porta-placa do OR 1, para iluminar o diapositivo colocado sobre a referida placa. Uma pequena caixa, conforme mostra a figura 22, foi construída para receber a lâmpada. Uma parte da tampa, dessa pequena caixa, é de acrílico leitoso semelhante àqueles existentes nas mesas de luz, para observar diapositivos ou negativos. As laterais e o fundo da caixa são de plástico. O interior da caixa é revestido com papel alumínio para melhor difusão da luz. O potenciômetro regula a intensidade de luz mais adequada, que é observada no monitor externo.

Essa caixa é fixada numa placa metálica que se ajusta nos elevadores do zoom do OR 1.

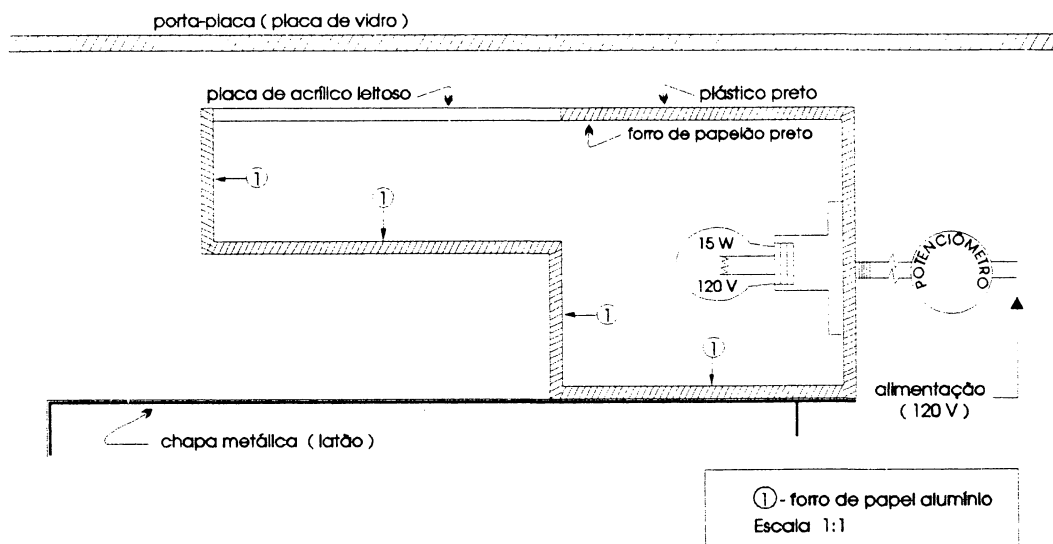


Figura 22 - Caixa para suportar a lâmpada que ilumina, por baixo, o porta-placa.

3.3.10 Conjunto de Lentes

O conjunto de lentes que foi adquirido, junto com a câmera CCD, é do tipo *C-mount*, focal de 16 mm. Esse conjunto rosqueado na câmera CCD resulta na seguinte situação:

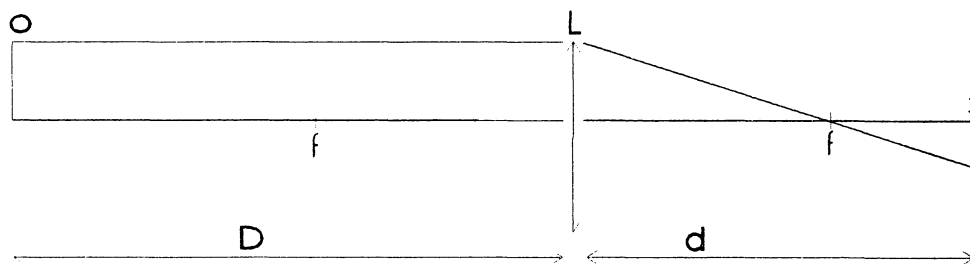


Figura 23 - A distância entre a lente e o sensor da CCD é menor do que a distância entre a lente e o objeto real.

onde:

$$D > d;$$

o = objeto (neste trabalho representado pelo diapositivo);

L = conjunto de lentes utilizado (C-mount - 16 mm);

i = imagem (captada pelo sensor da câmera CCD);

D = distância entre a lente e o objeto real (diapositivo);

d = distância entre a lente e o sensor da câmera CCD; e

f = distância focal, 16 mm.

Dessa forma, a imagem é menor que o objeto. Isso significa que a imagem capturada pelo sensor, que mede 8,8 x 6,6 mm, corresponde a uma área, no objeto, algumas vezes maior que a imagem. E, a consequência disso é o aumento no tamanho do *pixel*; em outras palavras, um elemento do sensor, que é de 11 μm , corresponde a um objeto de maior dimensão.

A situação ideal, para este trabalho, seria a que mostra a figura 24 abaixo:

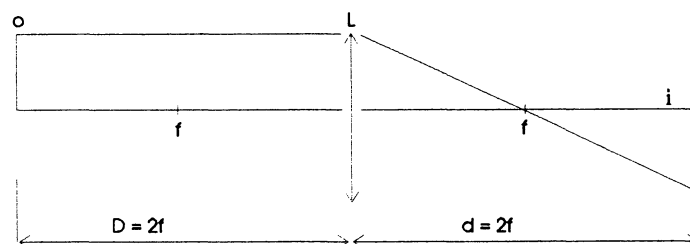


Figura 24 - Distâncias entre a imagem e lente, e entre lente e objeto real necessárias para se obter a imagem do mesmo tamanho que o objeto ($i = o$).

pois, dessa forma, a dimensão da imagem capturada pelo sensor corresponderia a um objeto de mesma dimensão.

Com o objetivo de se aproximar da situação ideal, construiu-se um prolongador para ser colocado entre a lente e o sensor da câmera CCD, como mostra a figura 25 abaixo.

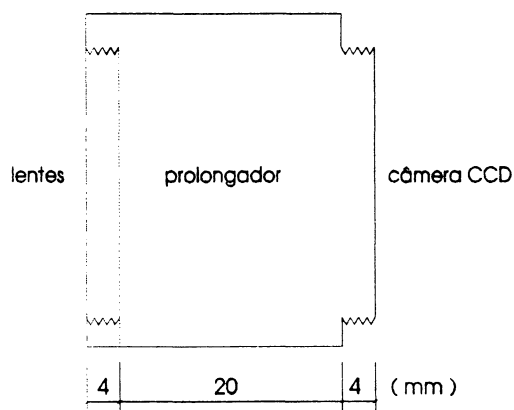


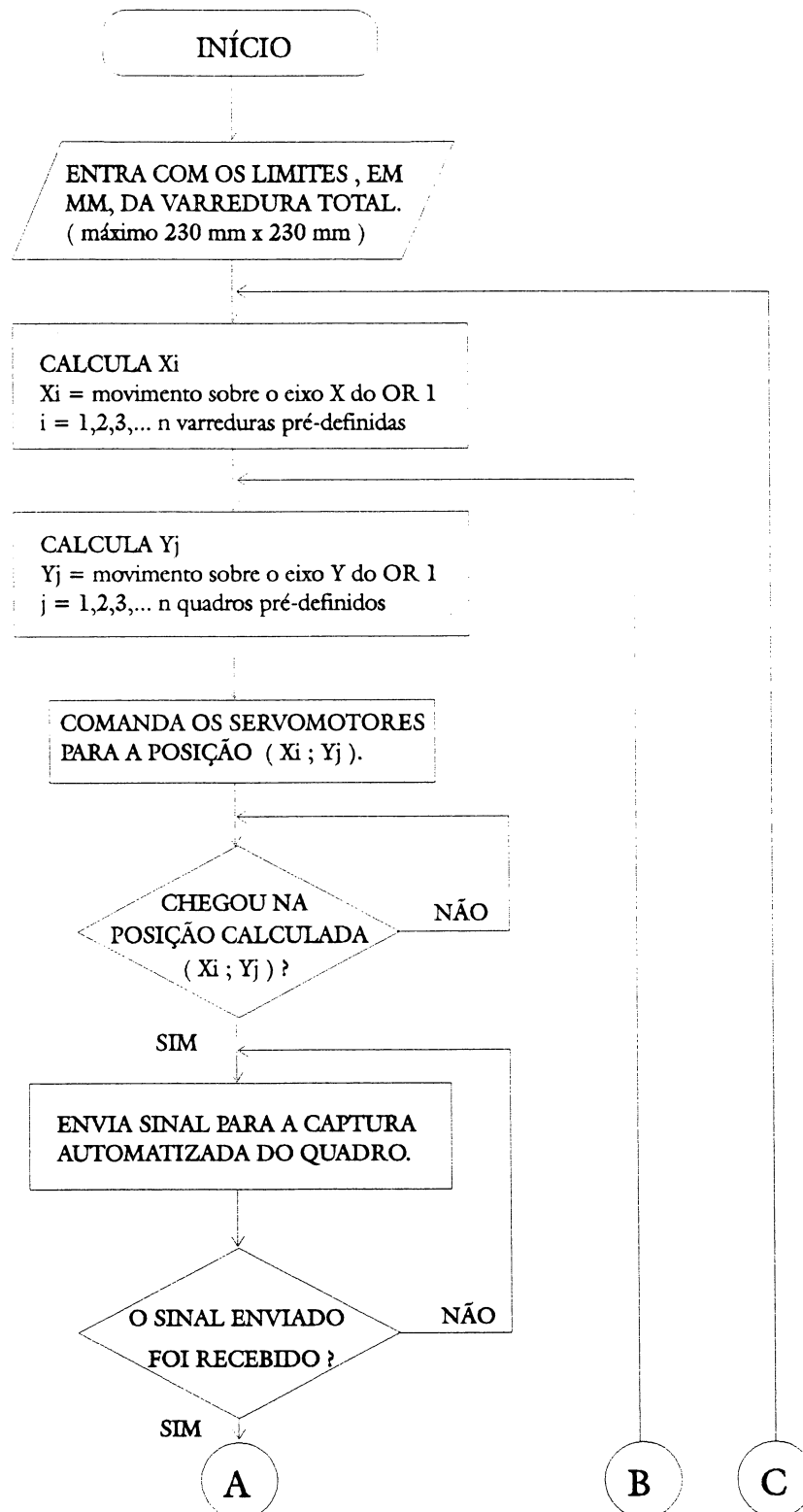
Figura 25 - Prolongador para aproximar a situação $D = d = 2f$.

3.4 Softwares

3.4.1 Controle do OR 1

Trata-se de um programa, desenvolvido especificamente para este trabalho, em linguagem C++, no ambiente DOS. Ele controla os servomotores do OR 1 para deslocar o porta-placa; envia um sinal (1 *bit*) para o computador que controla a Placa Digitalizadora, informando o instante para capturar o quadro; aguarda a confirmação do sinal enviado; controla o número de perfis (ou *varreduras*); aguarda que a RAM transfira os quadros capturados para o *Hard Disk* (HD); e, informa o final da varredura. A figura 26 mostra o Fluxograma do programa Controle do OR 1.

FLUXOGRAMA PARA CONTROLAR O OR 1



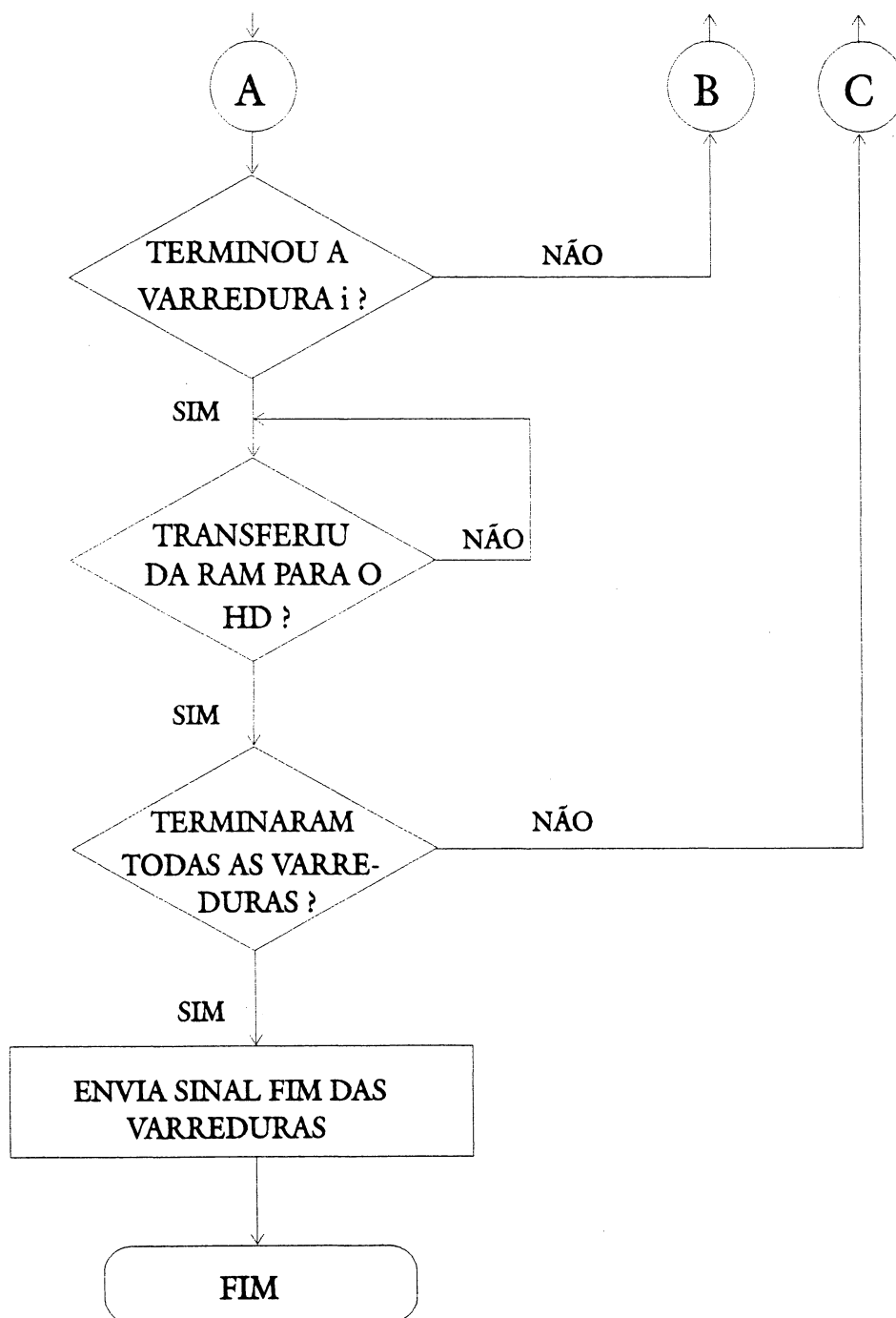


Figura 26 - Fluxograma para controlar o OR 1.

3.4.2 O software *Global Lab Image*, suas Ferramentas e Bibliotecas

Trata-se de um *software*, adquirido da *Data Translation*, apropriado para o processamento e análise de imagem digital, que opera no ambiente *Windows*. Ele permite criar o esquema básico de um programa específico; em outras palavras, ele orienta como escrever um programa, em Linguagem C++, utilizando uma biblioteca que o acompanha, sem se importar com o mecanismo de funcionamento da placa digitalizadora ou com detalhes de formato de arquivo.

O *software Global Lab Image* possibilita a gravação de um conjunto de operações denominadas *scripts*, em linguagem de programação C++.

Além da geração de *scripts*, o pacote do *Global Lab* fornece códigos, fontes, exemplos de programas em C/C++ para o ambiente *Windows*. Então, por simplicidade, resolveu-se desenvolver as funções necessárias ao desenvolvimento do projeto, a partir desse programa exemplo, fornecido no pacote. A vantagem de tal procedimento é a economia de tempo, necessária ao desenvolvimento do programa.

O que se fez foi tão somente a colocação das rotinas de comunicação e manipulação das imagens necessárias ao processo. Algumas funções auxiliares, como a captura isolada de uma imagem, a colocação em tempo real da imagem no monitor, etc., foram mantidas no *software*. Essas funções foram importantes no decorrer do processo de desenvolvimento do programa, sendo também especialmente úteis para o ajuste da câmera CCD, que deve ser realizado antes do início do trabalho com o OR 1.

Para exemplificar a vantagem do *Global Lab*, apresenta-se, a seguir, um exemplo de como elaborar um filtro:

- 1 - Abre-se o *Global Lab Image*;
- 2 - Abre-se uma imagem;
- 3 - No menu *Scripts*, escolhe-se o campo *Record*. A partir deste momento, o *software* vai gravando, em linguagem C++, o que se deseja, ou seja, elaborar um filtro.

- 4 - Terminado o que se quer no menu *Scripts*, escolhe-se o campo *Stop Recording*. Em seguida, salva-se o arquivo;
- 5 - No menu *Scripts* escolhe-se o campo *Script Editor* e seleciona-se o campo *Open*;
- 6 - Abre-se o arquivo salvo anteriormente;
- 7 - Salva-se novamente, como arquivo .C;
- 8 - Seleciona-se o campo *Copiar* e o *Colar*. Tem, então, um programa elaborado em linguagem C⁺⁺, do filtro desejado.

A figura 27 abaixo mostra as principais ferramentas do *Global Lab Image*.







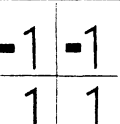
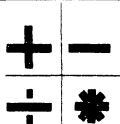


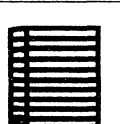

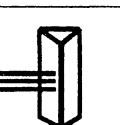
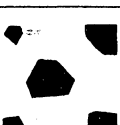
Picture			Display
Profile			Histogram
Location			Measure
Filter			Arithmetic
Geometry			Draw
Log			Calibration
Frequency			Particle

Figura 27 - Ferramentas do *Global Lab Image*.

A seguir, a tabela 6 mostra as operações acessadas por essas ferramentas.

Ferramenta	Operações
<i>Picture</i>	Controla a digitalização do vídeo: <ul style="list-style-type: none"> • apresenta a imagem ao vivo, • captura a imagem, • seleciona o canal de entrada, • setting input look-up tables (fixação da tabela LUT de entrada), • setting gain (fixação de ganho de iluminação ou contraste), • offset, • valores de referências, • equaliza o histograma linear.
<i>Display</i>	Controla o mostrador de imagens: <ul style="list-style-type: none"> • seleção do buffer, • setting output (color) look-up table (fixação da tabela LUT de saída), • zoom e panning (zoom e voo), • cópia e pasting imagens.
<i>Profile</i>	Apresenta os valores de cinza ao longo de um segmento de linha.
<i>Histogram</i>	Apresenta a distribuição dos valores de cinza na região de interesse (ROI) e calcula a estatística da intensidade.
<i>Location</i>	Mostra a posição e o valor de cinza dos pontos.
<i>Measure</i>	Mostra a distância entre 2 pontos, entre uma série de pontos, ao longo de uma linha, ou numa borda de uma imagem e mostra medições de ângulos.
<i>Filter</i>	Aplica convolução e filtros morfológicos para uma região de interesse (ROI).
<i>Arithmetic</i>	Realiza operações lógicas e matemáticas numa região de interesse, e copia uma região de interesse para um outro buffer.
<i>Geometry</i>	Faz rotações, inverte a imagem, modifica a escala da imagem (de uma área de interesse).
<i>Draw</i>	Desenha texto e gráficos simples sobre uma imagem e permite editar uma imagem numa escala de cinza.
<i>Log</i>	Coleta e mostra os dados de outras janelas de ferramenta.
<i>Calibration</i>	Calibra as coordenadas do pixel para um sistema de coordenadas terrestre conhecido.
<i>Frequency</i>	Calcula as FFTs e as inversas FFTs, e realiza a edição de frequência de uma região de interesse.
<i>Particle</i>	Calcula, mede e classifica partículas em uma região de interesse.

Tabela 6 - Operações acessadas pelas ferramentas do *Global Lab Image*.

A respeito do menu *Scripts* do *Global Lab Image*, é importante salientar que a maioria das operações, que se realiza usando as ferramentas do GLI, pode ser gravada usando um interpretador de linguagem C e ser salva num arquivo de

disco. Uma vez criado, um *script* pode ser chamado, modificado e *debugged* (*retirar erros*). Para escrever um *script* não requer proficiência em programação C; entretanto, para modificações num *script* e para correções são necessários conhecimentos daquela linguagem.

Os comandos *script* acessados, que usam o menu *Script*, são resumidos na tabela 7 abaixo.

USE ESTE COMANDO	PARA FAZER
<i>LOAD...</i>	Carrega um arquivo <i>script</i> gravado previamente para torná-lo operante. O nome do arquivo é anexado à base do menu <i>script</i> . Um máximo de 20 arquivos pode ser carregado.
<i>RECORD</i>	Inicia ou termina a gravação de um <i>script</i> (alternadamente). Este comando troca para interromper a gravação quando um <i>script</i> está sendo gravado. Ao se interromper a gravação, uma caixa de diálogo requer um nome de arquivo para o <i>script</i> . O nome do arquivo do <i>script</i> é, então, adicionado ao menu.
<i>SCRIPT EDITOR</i>	Este comando abre um editor <i>script windows</i> . Diversas janelas podem ser abertas para trabalhar sobre múltiplos arquivos <i>script</i> .
<i>DEBUGGER</i>	Encontrar erros e solicitar correção.
<i>SCRIPTNAME</i>	Chama e coloca em operação este <i>script</i> .

Tabela 7 - Comandos *script* do *Global Lab Image*.

Detalhes sobre o uso do menu *Script* do *Global Lab Image* podem ser encontrados no Manual do Usuário.

3.4.3 Programa Captura Automatizada

Este *software* foi desenvolvido em linguagem de programação C++ no ambiente *Windows*. Foram utilizadas ferramentas e funções da Biblioteca do *Global Lab Image*.

Esse programa monitora continuamente a porta paralela, à espera de um sinal vindo do computador que controla o OR 1. No momento em que recebe o sinal, o programa congela a imagem daquele instante.

Antes de armazenar a imagem capturada na RAM do computador hospedeiro, as linhas pares (*ou ímpares*) são descartadas. As colunas pares (*ou ímpares*) também serão descartadas, a fim de se eliminar o efeito da deformação geométrica. A placa digitalizadora, ao digitalizar todas as linhas ímpares e depois todas as linhas pares durante o movimento do porta-placa, provoca na imagem o efeito do arraste. Isso se deve ao tipo de câmera CCD utilizada, ou seja, apropriada para captura entrelaçada.

A consequência de se eliminar linhas e colunas reflete no tamanho do *pixel* da imagem que se armazena na RAM, ou seja, se o tamanho do *pixel* original de cada linha é de 11 microns, então a imagem vai ser armazenada com *pixel* de 22 microns.

O descarte das colunas é feito só na fase de pré-processamento. Assim ganha-se tempo na transferência da imagem do *buffer* da placa digitalizadora para o *buffer* da RAM, ou seja, o quadro é transferido sem as linhas que foram descartadas, mas ainda permanece com todas as colunas inclusive as de sobreposição.

A medição do tempo de processamento é feita entre o intervalo compreendido pelo instante do recebimento de um pulso (*sinal vindo do computador que controla o OR 1*) até o instante em que o computador hospedeiro está novamente pronto para receber outro pulso. Nesse intervalo de tempo são realizadas as seguintes operações:

- congelamento da imagem (*pois a imagem estava ao vivo - tempo real*);
- transferência das linhas do *buffer* da placa digitalizadora para o *buffer* da RAM;
- colocação da imagem, novamente, em tempo real; e
- outros procedimentos, como a comunicação entre os computadores.

Esses tempos podem ser observados na tabela 8 que segue.

	Tempo Médio (segundos)	N.º de Linhas Transferidas	N.º de Colunas Transferidas
Ⓐ	0,41	240	640
Ⓑ	9,44	240	320
Ⓒ	0,88	480	640
Ⓓ	0,05	10	640

Tabela 8 - Tempo para processar a imagem.

A função da Biblioteca *Global Lab*, usada em Ⓐ e Ⓒ, é a *buffer_get in*. Ela possibilita a leitura de uma linha inteira do *buffer* da placa digitalizadora e a transfere para o *buffer* da RAM. Em Ⓑ foi usada a função *buffer_get pix*, que lê e transfere um *pixel* apenas, de cada vez.

A operação mais eficiente é Ⓐ. As colunas pares (*ou ímpares*) também serão descartadas. Esse descarte é feito antes da fase de junção dos quadros.

Dessa forma, cada quadro transferido terá $240 \times 640 = 153,6 \text{ Kb}$, e isso representa, em 30 quadros (*varredura de uma linha completa*), a necessidade de se ter, na RAM, $30 \text{ quadros} \times 240 \text{ linhas} \times 640 \text{ colunas} = 4,6 \text{ Mb}$; após a varredura de cada linha, o *software* transfere as imagens da RAM para o *winchester* do computador hospedeiro. E, enquanto ocorre essa transferência, o mecanismo de varredura do OR 1 realiza a mudança de linha.

A rotina "captura automatizada" realiza seqüencialmente as seguintes operações:

1 - Exibe caixa de diálogo solicitando altura do corte.

2 - Aloca o *buffer* de saída que deverá conter uma linha de imagens com sobreposições laterais não retiradas (*colunas iguais*); ver figura 28.

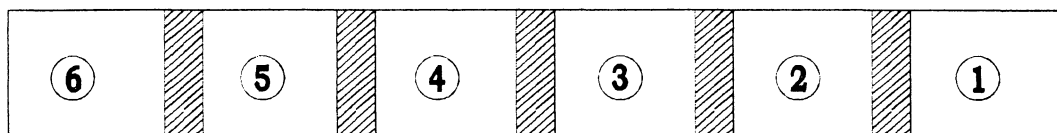


Figura 28 - Disposição das imagens no *buffer* de saída.

3- Cria um arquivo *.TIFF* temporário em disco. Esse arquivo conterá um empilhamento seqüencial das linhas de imagens originadas no *buffer* de saída; ver figura 29.

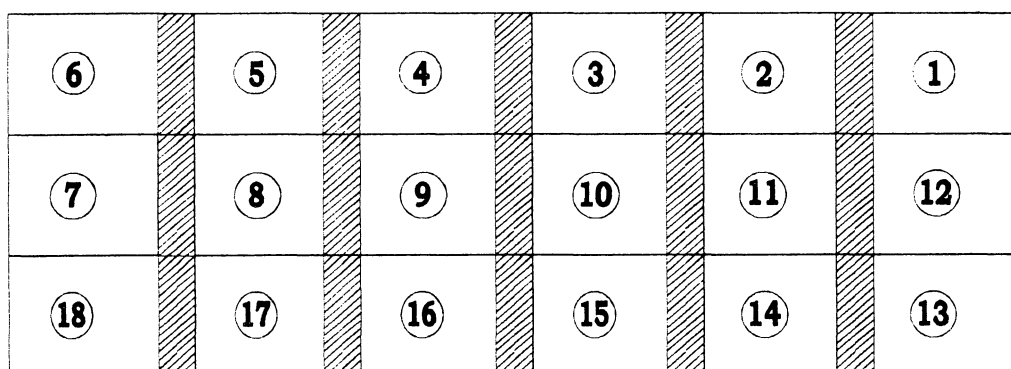


Figura 29 - Disposição das imagens no arquivo temporário.

4 - A rotina coloca a imagem em tempo real, monitorando continuamente a porta LPT1 que está ligada ao PC que controla o OR 1. Ao receber um sinal desse PC, o *software* congela a imagem no monitor e copia o conteúdo da imagem do *buffer* de entrada (*frame buffer*) para o *buffer* de saída. Essa operação é realizada linha a linha, e é por esse motivo que as linhas de sobreposição horizontal já são descartadas. Ao terminar esse processo, o *software* coloca novamente a imagem em tempo real e volta a monitorar novamente a porta paralela.

5 - Para cada sinal enviado pelo PC que controla o OR 1, o *software* gravará uma imagem no *buffer* de saída. Esse processo será repetido continuamente até que o OR 1 percorra uma linha inteira na direção Y. Quando esse percurso estiver completo, o *buffer* de saída conterá todas as imagens daquele percurso (com as sobreposições). Neste momento, o OR 1 deslocar-se-á em X para a varredura de uma nova linha em Y, enquanto o *software* gravará em disco o conteúdo do *buffer* de saída (será a primeira linha de imagens do arquivo *.TIFF* temporário).

É importante notar que a sequência de imagens capturadas no OR 1 não será na mesma sequência das linhas de imagens gravadas no arquivo temporário. Esta "inversão" realizada nas linhas pares é executada no momento em que as imagens são copiadas no *buffer* do *frame grabber* para o *buffer* de saída. Em uma linguagem mais simples, pode-se dizer que as imagens das linhas pares são copiadas "de trás para frente" no *buffer* de saída.

A CCD está fixa e o porta-placa se desloca ora da esquerda para a direita e ora da direita para a esquerda, capturando os quadros, como ilustra a figura 30 abaixo.

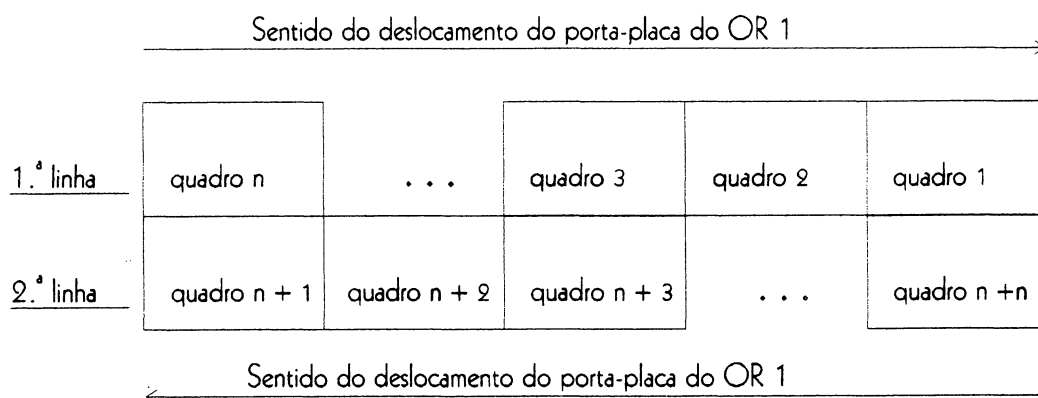


Figura 30 - Sequência dos quadros para junção dos quadros.

6 - Ao terminar o processo total de varredura através de um sinal vindo do computador do OR 1, o *software* libera o espaço de memória alocado para o *buffer* de saída e realiza o ajuste final da imagem. Esse ajuste consiste na criação de um arquivo *.TIFF* final, que recebe a cópia do arquivo temporário, retiradas as sobreposições verticais da imagem, bem como as colunas pares, ou seja, realiza a junção dos quadros.

Assim o *software* possibilita juntar as diversas imagens digitalizadas, formando uma única imagem final sem problemas de continuidade da imagem.

O ajuste final da imagem é realizado depois que o processo de captura de imagens pelo OR 1 é finalizado. Conforme descrito anteriormente, o arquivo temporário criado contém todas as linhas pares capturadas pela câmera CCD que são juntadas posição após posição, linha após linha, até formar o arquivo completo denominado temporário.

Nesse arquivo, as imagens são dispostas conforme a figura 31, onde as regiões escuras de cada imagem indicam uma porção da imagem que foi capturada pela segunda vez (*a primeira vez ocorreu no final da imagem anterior*). Uma das porções excedentes deve, naturalmente, ser eliminada na composição da imagem final. Esse processo de ajuste é realizado *pixel a pixel*, no final do processo de captura.

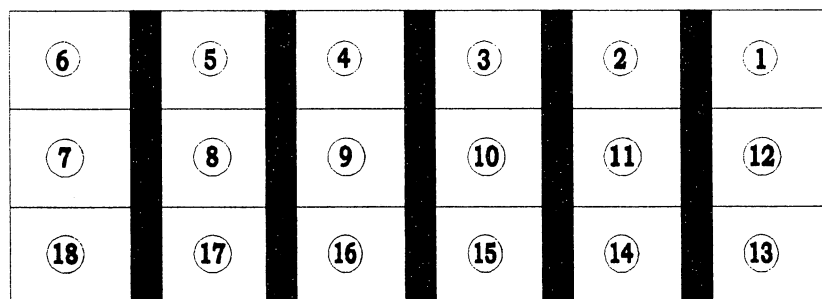


Figura 31 - Arquivo temporário.

(As linhas verticais e regiões escuras são informações inúteis.)

Em resumo, o arquivo final, figura 32, será o arquivo temporário, retiradas as sobreposições e as colunas pares.

6	5	4	3	2	1
7	8	9	10	11	12
18	17	16	15	14	13

Figura 32 - Arquivo final.

A escolha do processo utilizando o *buffer* de saída e o arquivo temporário deve-se ao seguinte fato: a manipulação *pixel-a-pixel* de *buffers* e arquivos é um processo extremamente mais lento que a manipulação de linha de *pixels*. Como a varredura do OR 1 possui velocidade constante (*no intervalo de captura dos quadros*) e o tempo decorrente entre duas capturas é pequeno, aproximadamente 1 segundo, é necessário que o processo de manipulação da imagem seja rápido o suficiente para que não haja perda de informação (*perda do sinal vindo do PC que controla o OR 1*). É por esse motivo que se optou, então, pelo salvamento inicial em disco de um arquivo intermediário, e a criação do arquivo final apenas no término do processo.

O processo de comunicação entre o PC de controle do OR 1 (*PCM*) e o PC de controle das imagens (*PCI*) é assim realizado: o PCM envia pulsos de sinalização que informam o PCI do momento em que este deve realizar a captura da imagem. O PCM aguarda, então, o PCI finalizar o processo e sinalizar um retorno quando, então, o PCM saberá que poderá mandar outro comando. O processo continua até que o PCM envia um pulso particular de finalização para o PCI, que realiza o ajuste da imagem descrito anteriormente.

As funções da biblioteca, utilizadas na rotina Captura Automatizada, foram as seguintes:

buffer_getin

buffer_free

CriaTIFF

AbreTIFF

ReescreveLinhasTIFF

FechaTIFF

As funções criadas foram as seguintes:

a) *BufferTransfer*: Ela transfere linhas pares do *buffer* do *frame grabber* para o *buffer* de saída. Para isso foram usadas as funções:

buffer_lock

buffer_getin

buffer_putin

buffer_getpix

buffer_unlock, todas da biblioteca do *Global Lab Image*. A descrição e a sintaxe delas constam no respectivo manual.

b) *Ajusta-imagem*: Ela ajusta a imagem contida em *temporar.TIFF* e grava a imagem final em *final.TIFF*. Para isso foram usadas as funções:

CriaTIFF

AbreTIFF

LeLinhaTIFF

ReescreveLinhasTIFF

FechaTIFF

O diagrama abaixo, figura 33, ilustra o funcionamento do sistema.

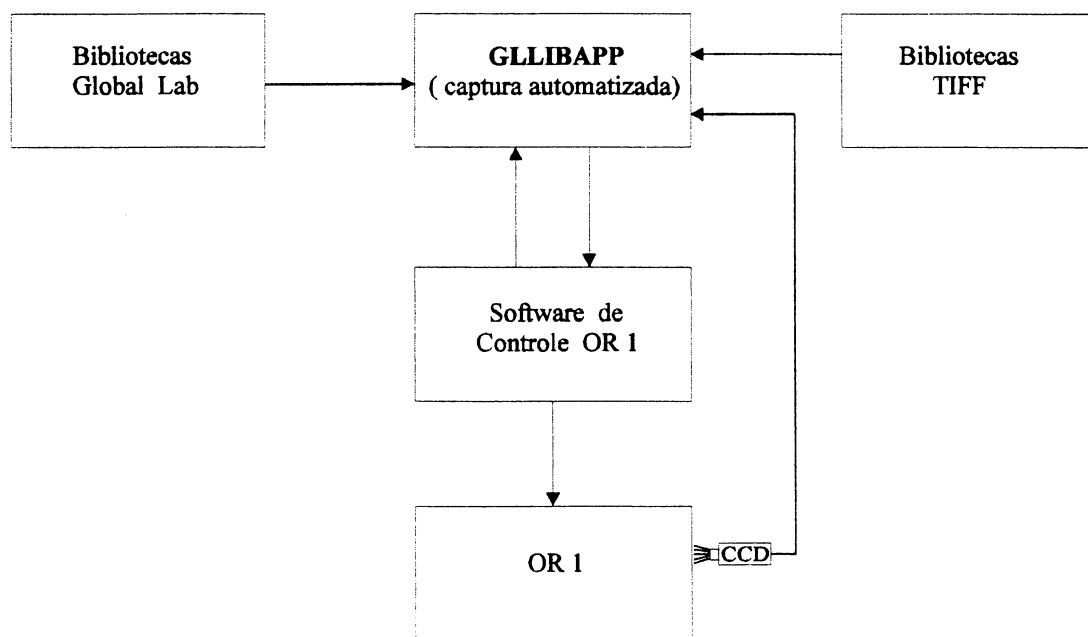


Figura 33 - Diagrama do funcionamento dos programas.

A figura 34, apresentada na página 73, mostra o fluxograma do programa Captura Automatizada.

FLUXOGRAMA DA CAPTURA AUTOMATIZADA

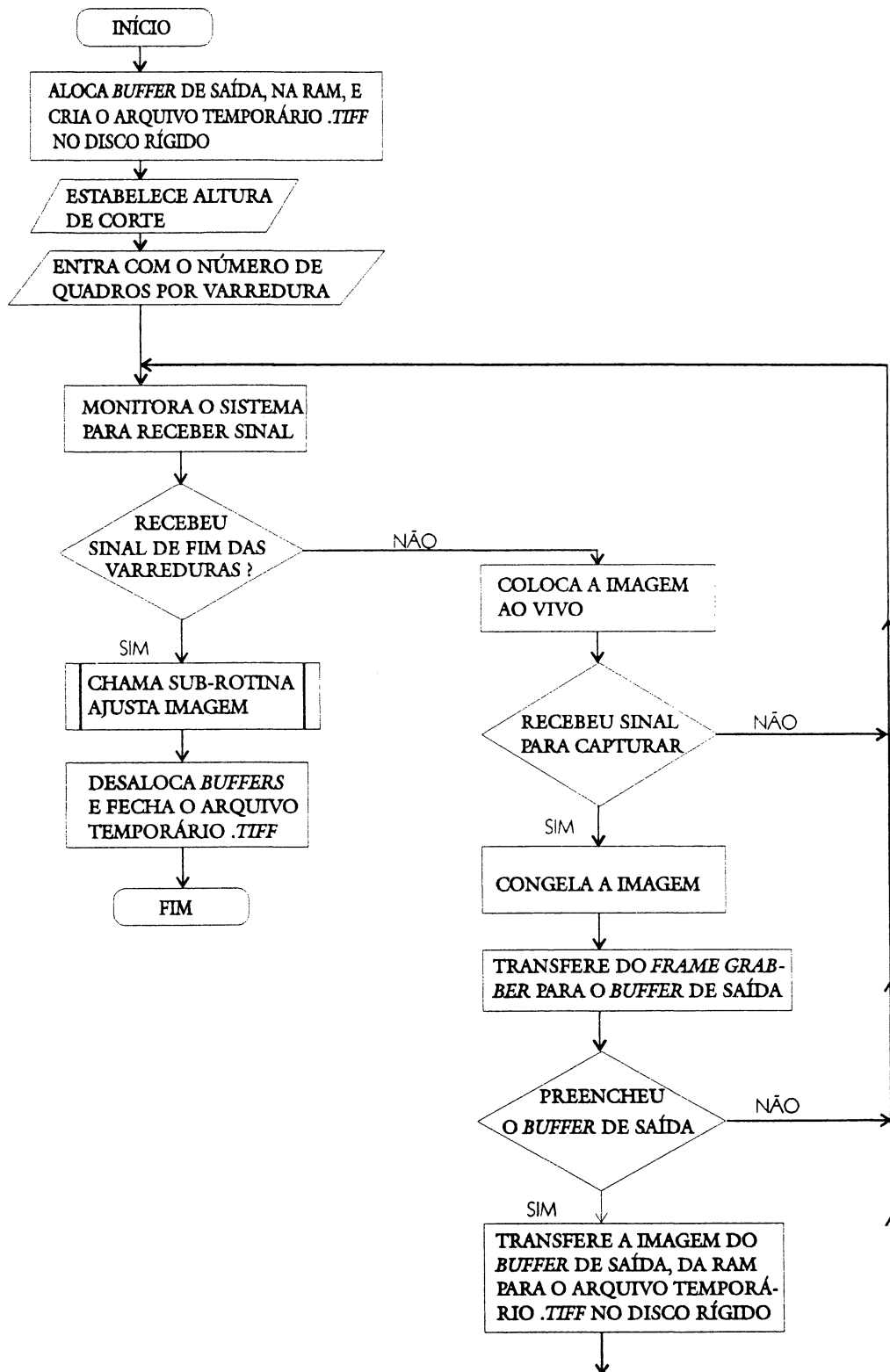


Figura 34 - Fluxograma do programa Captura Automatizada.

A figura 35, a seguir, mostra a sub-rotina Ajusta Imagem.

FLUXOGRAMA DA SUB-ROTINA AJUSTA IMAGEM

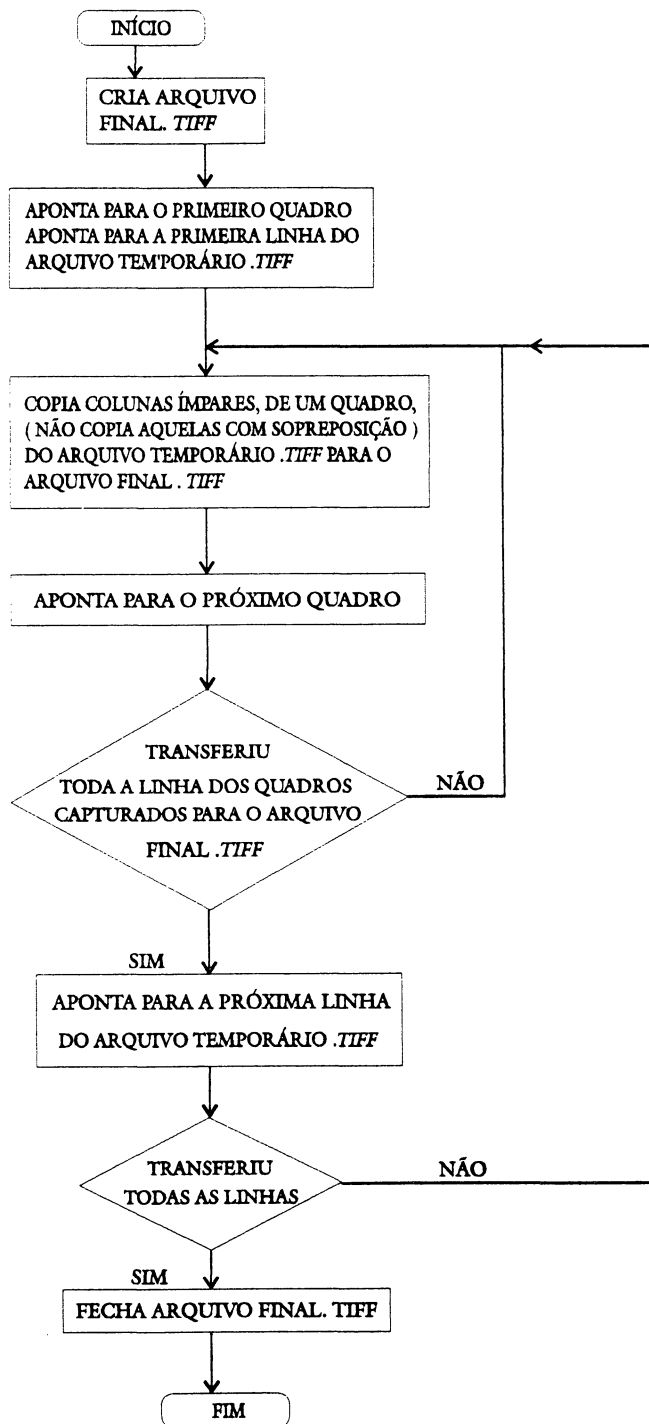


Figura 35 - Fluxograma da Sub-rotina Ajusta Imagem.

3.4.4 Compara Foco

Desenvolveu-se um *software* que mostra se a focalização de uma imagem é melhor ou pior que outra imagem capturada. O *software* usa três filtros diferentes. A seguir vem explicado, passo a passo, como foi desenvolvido o programa.

Passo n.º 1 - Captura-se uma imagem, como a da figura 36 abaixo.

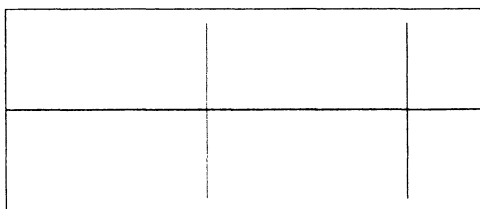


Figura 36 - Primeira imagem capturada para verificação do foco.

Passo n.º 2 - Aplica-se o filtro Sobel. O objetivo é realçar as linhas das cruzes, como se vê na figura 37. O filtro Sobel soma a multiplicação dos elementos da matriz do filtro pelos correspondentes elementos de tons de cinza da imagem, ver GONZALEZ (1987). A forma matricial da máscara do filtro Sobel é a seguinte:

$$\begin{matrix} -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix}$$

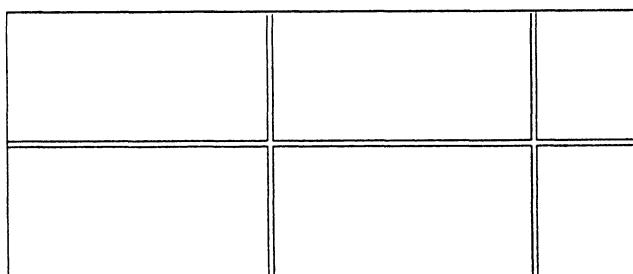


Figura 37 - A imagem após a aplicação do filtro Sobel.

Passo n.º 3 - Aplica-se um filtro para binarizar a imagem (*parte branca e parte preta, como se vê na figura 38*). Esse filtro é conhecido como filtro de linearização.

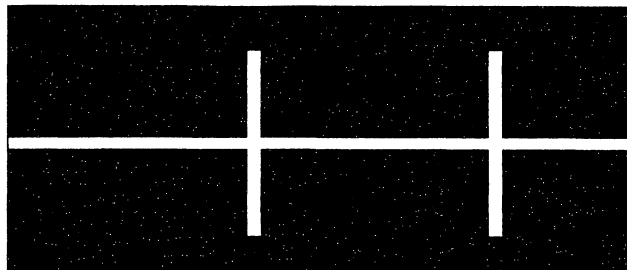


Figura 38 - A imagem após aplicação do filtro de linearização.

Passo n.º 4 - Aplica-se o filtro Sharpen que reforça a parte mais clara, conforme se vê na figura 39. A forma matricial da máscara desse filtro é a seguinte:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

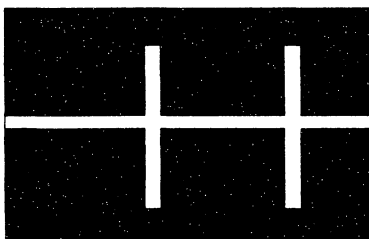


Figura 39 - A imagem após a aplicação do filtro Sharpen.

Depois que todos os filtros foram aplicados, calcula-se a percentagem de *pixels* pretos sobre *pixels* brancos. Com o *Global Lab Image*, é possível saber quantos *pixels* pretos e quantos *pixels* brancos têm na imagem.

Passo n.º 5 - Ajusta-se (*abaixa-se ou eleva-se*) a câmara CCD e captura-se uma segunda imagem. Depois, repete-se o processo descrito nos passos 1 a 4 e comparam-se as percentagens de *pixels* pretos sobre *pixels* brancos das duas imagens capturadas. A maior percentagem de *pixels* pretos sobre *pixels* brancos indica uma focalização pior.

O resultado é mostrado numa janela, como na figura 40 abaixo.

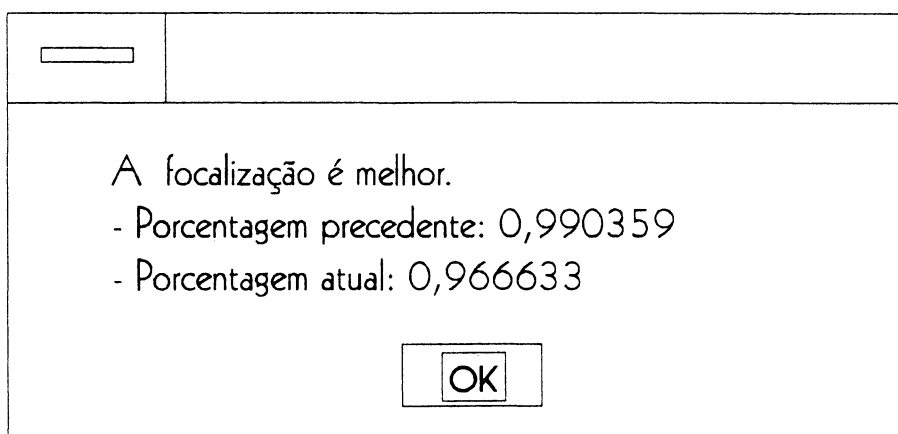


Figura 40 - Resultado da focalização que aparece na janela (vídeo).

As variáveis utilizadas no programa foram:

- *compteur*, para saber quantas vezes já foi feita a focalização; e
- *tab (2)*, valor da percentagem de *pixels* pretos sobre *pixels* brancos;

tab (0) = valor precedente,

tab (1) = valor da última focalização.

Outras formas para se obter a melhor focalização são:

- a) aplicar a ferramenta Histograma do *software Global Lab Image*;
- b) aplicar o modelo $S = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (a_{i,j} - a_{i+1,j})^2$, (ver *pág. 36*); e
- c) análise visual sobre as imagens no monitor extra.

A figura 41, adiante apresentada, mostra o fluxograma do programa *Compara Foco*.

FLUXOGRAMA DO COMPARA FOCO

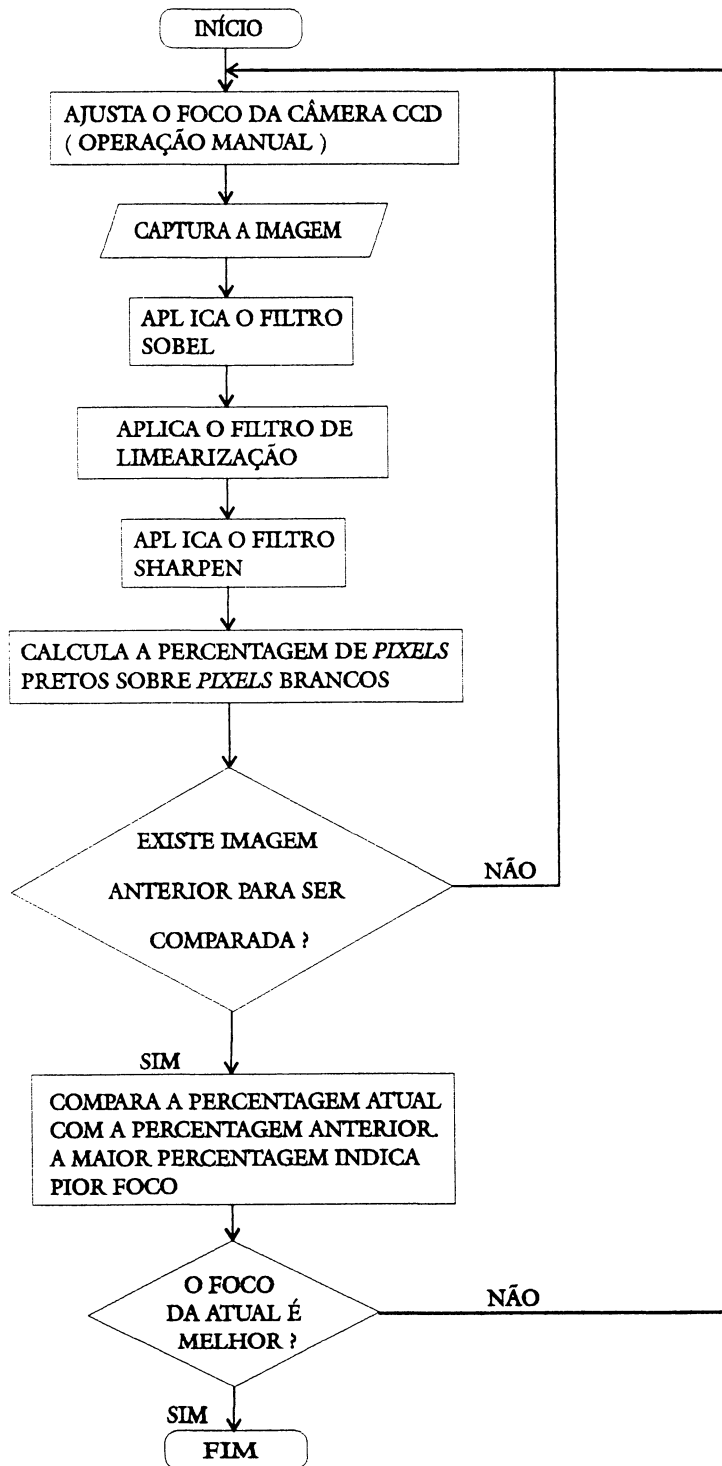


Figura 41 - Fluxograma do programa Compara Foco.

3.5 Orientação do Sistema

A orientação do sistema, num futuro próximo, será automatizada; mas, neste trabalho, ainda foi usado o meio manual, aqui descrito passo a passo. Ela consiste das seguintes etapas: focalização, paralelismo entre os eixos, cálculo da dimensão do objeto real representado por um *pixel*, cálculo do tempo de deslocamento do OR 1, nivelamento do plano do sensor da câmera CCD, e ajuste da iluminação do porta-placa.

3.5.1 Focalização

O item 3.4.4 descreveu como foi desenvolvido o *software* *Compara Foco*, que mostra se a focalização de uma imagem é melhor ou pior que de outra imagem capturada anteriormente. Ainda naquele item é citado que a focalização pode ser obtida de três outras maneiras:

a) aplicando-se a ferramenta Histograma;

b) aplicando-se o modelo $S = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (a_{i,j} - a_{i+1,j})^2$; ou,

c) simplesmente visual, observando a imagem capturada no monitor extra. Em suma, a focalização deve ser a primeira etapa da orientação do sistema.

3.5.2 Paralelismo entre os Eixos

Para se obter a justaposição dos quadros capturados, é necessário que os eixos de varredura do OR 1 sejam paralelos aos eixos (*linhas e colunas*) do sensor da câmera CCD.

A primeira idéia foi a de capturar os quadros, mesmo sabendo-se que os eixos de varredura não coincidiam com os eixos do sensor da câmera CCD. Nesse caso, existe um ângulo entre os dois sistemas, como mostra a figura 42 abaixo.

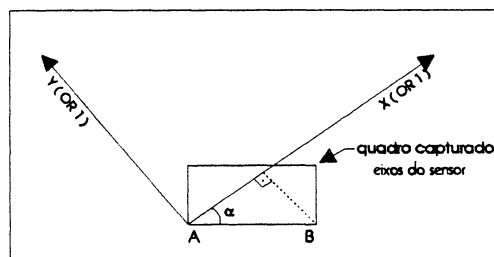


Figura 42 - Ângulo existente entre os eixos de varredura e os eixos do sensor da câmera CCD.

Desta forma, o porta-placa deve ser deslocado em X e em Y para capturar cada quadro. Para que os quadros capturados estejam, exatamente, um ao lado do outro, o vértice A da figura 42 deve ocupar o lugar do vértice B, na 2.^a captura (*próximo quadro*). Assim, o OR 1 deve se deslocar de $\overline{AB} \cdot \cos \alpha$ (mm) sobre o eixo de varredura X (OR 1), e, de $\overline{AB} \cdot \sin \alpha$ (mm) sobre o eixo de varredura Y (OR 1). O mesmo raciocínio se aplica quando se troca de linha (ou faixa).

Apenas para enfatizar a importância de se capturar os quadros adjacentes, apresenta-se a figura 43.

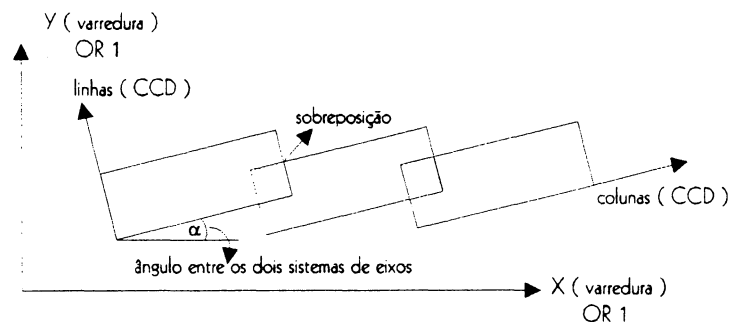


Figura 43 - Quadros capturados sem o paralelismo entre os eixos da CCD e da varredura; sem sincronismo entre varredura e tomada do quadro; e sem os deslocamentos apropriados em X (OR 1) e em Y (OR 1).

Voltando-se à situação que mais interessa neste trabalho, ou seja, encontrar o paralelismo entre os eixos de varredura do OR 1 e os eixos do sensor, descrevem-se, a seguir, os passos para se alcançar este objetivo. Para que isso ocorra, é necessário, primeiramente, que os eixos de varredura do OR 1 estejam paralelos aos eixos das cruzes gravadas no vidro do porta-placa do OR 1. A figura 44 abaixo mostra tal placa e as citadas cruzes.

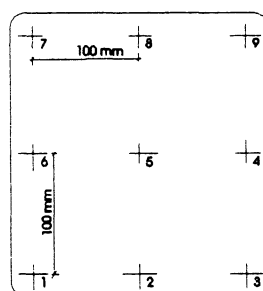


Figura 44 - Placa de vidro com a gravação das cruzes (*Porta-placa*).

O porta-placa do OR 1 pode ser rotacionado de 5 graus, sem interferir nos eixos de varredura do OR 1, os quais são fixos. Por isso, pode-se girar (*através de um botão*) o porta-placa até se conseguir a coincidência dos eixos das cruzes do porta-placa com os eixos de varredura.

A verificação da coincidência dos eixos é feita seguindo as etapas:

1 - Posiciona-se a marca de referência que aparece na ocular do OR 1, sobre a cruz n.º 1.

2 - Comanda-se o OR 1 para mover a cruz n.º 7 na direção da marca de referência. E o que se nota é a existência de um ΔX entre o centro da cruz n.º 7 e a marca de referência. Isso significa que o porta-placa deve ser girado para a esquerda ou para a direita.

3 - Corrige-se a metade de ΔX e comanda-se a varredura para que a cruz n.º 1 vá na direção da marca de referência. Observa-se que $\Delta X'$ (*entre a marca de referência e a cruz n.º 1*) é menor que ΔX .

4 - Repete-se a etapa 3 e 2, até que haja coincidência da marca de referência com as cruzes n.º 1 e 7. Assim se verifica a coincidência dos eixos de varredura do OR 1 e os eixos do porta-placa.

O próximo passo é verificar o paralelismo entre os eixos de varredura do OR 1 e os eixos (*linhas e colunas*) do sensor da câmera CCD. Essa verificação é feita da seguinte maneira: captura-se a imagem da cruz n.º 1. Sobre essa imagem, medem-se as coordenadas de dois pontos (*A e B*) extremos da linha horizontal. A medição das coordenadas da imagem é realizada usando-se a ferramenta "Measure" do software *Global Lab Image*. A figura 45, que segue à página 82, ilustra o exposto.

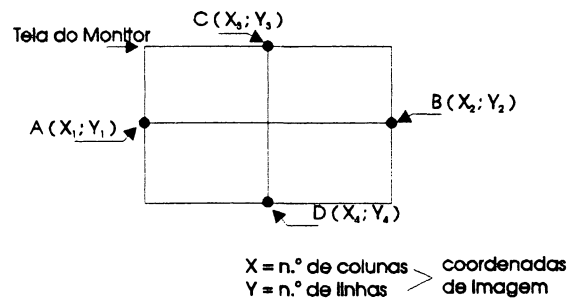


Figura 45 - Imagem capturada da cruz n.º 1 para verificar o paralelismo entre os eixos da varredura do OR 1 e os eixos do sensor da câmera CCD.

Se $Y_1 = Y_2$, então a câmera CCD está paralela ao eixo de varredura.

Se $Y_1 \neq Y_2$, então a câmera CCD deve ser rotacionada. O suporte da câmera CCD, descrita no item 3.1, permite esse movimento. Repete-se a operação até que se obtenha $Y_1 = Y_2$.

A verificação do paralelismo pode ainda ser realizada medindo-se as coordenadas da imagem dos pontos C e D. Nesse caso, o paralelismo ocorre quando $X_3 = X_4$.

Para uma confirmação definitiva, pode-se repetir as operações sobre a imagem capturada da cruz n.º 7. Sobre essa imagem, o n.º da linha horizontal da cruz n.º 7 deve ser o mesmo da linha horizontal da cruz n.º 1. Caso contrário, pequenos ajustes (rotações) devem ser realizados no suporte da câmera CCD.

3.5.3 Cálculo da Dimensão do Objeto Real Representado por um *Pixel*

A dimensão exata que representa um *pixel* da imagem capturada deve ser conhecida para o cálculo do deslocamento do OR 1 durante a digitalização. Ela pode ser determinada conhecendo-se a distância, em mm, percorrida por um ponto, e dentro do intervalo de 640 *pixels*, da tela do monitor. As duas posições ocupadas pelo mesmo ponto têm suas coordenadas de vídeo (*linhas e colunas*) conhecidas. Com isso é possível estabelecer uma relação para calcular a dimensão do objeto real representada por um *pixel*. Essa dimensão deve ser conhecida toda vez que a CCD for fixada sobre o porta-placa, mas não é necessário para

cada digitalização, pois não se varia a posição da CCD em relação ao porta-placa do OR 1.

A figura 46 "a" e "b", a seguir, ilustra a operação.



Figura 46 - Operações para se determinar a dimensão do objeto real representada pelo *pixel*.

a) Imagem salvada n.º 1.

O ponto tem coordenadas (em mm) conhecidas no sistema do OR 1 e no sistema de imagem.

b) Imagem salvada n.º 2.

O mesmo ponto foi deslocado para a direita, de X mm. Para essa nova posição também são conhecidas as coordenadas de imagem.

A tabela 9, abaixo, apresenta o resultado de um experimento.

	Cruz à esquerda da tela do monitor	Mesma cruz à direita da tela do monitor
Coordenadas do OR 1 (mm)	X = 0,00 Y = 0,00	X = 0,00 Y = 7,00
Coordenadas de vídeo	Linhas 100 Colunas 40	Linhas 100 Colunas 560

Tabela 9 - Leituras efetuadas para se determinar a dimensão do *pixel*.

Sendo assim, 7 mm correspondem a $560 - 40 = 520$ colunas (ou *pixels*), e portanto, cada *pixel*, da imagem capturada, vale $7\,000 \text{ microns} \div 520 \text{ colunas} = 13,46 \text{ microns}$ do objeto real.

As coordenadas de imagem são medidas aplicando-se a ferramenta "Measure" do software *Global Lab Image*. Dessa forma, conhece-se também a dimensão de um quadro, no mundo real, fazendo: $640 \text{ colunas} \times 13,46 \text{ microns} = 8\,614 \text{ microns}$.

3.5.4 Cálculo do Tempo de Deslocamento do OR 1

Já foi comentado, no item 3.4.3, sobre o sinal elétrico que é enviado, via cabo paralelo, para o computador hospedeiro do programa Captura Automatizada. O sinal é enviado a cada X segundos, e corresponde ao tempo que demora o OR 1 para se deslocar numa distância correspondente a um quadro (*640 colunas x 480 linhas*), ou a uma imagem capturada.

Para se conhecer a velocidade do OR 1, cronometrou-se a velocidade de deslocamento várias vezes, obtendo-se o tempo médio de 16 segundos para deslocar 100 mm, que corresponde, em média, a 0,16 segundo por milímetro deslocado. A velocidade de varredura do OR 1 pode ser regulada para mais ou para menos.

Uma imagem capturada (*um quadro*) mede, no mundo real, aproximadamente 8,8 mm - dimensão do sensor da câmera CCD. Para o OR 1 se deslocar 7mm, demora mais ou menos $7 \times 0,16 = 1,12$ segundo, e, nesse instante, um sinal elétrico é enviado ao computador hospedeiro para o *software* Captura Automatizada congelar a imagem e transferi-la do *frame buffer* da placa digitalizadora para o *buffer* de saída na RAM. Com esse procedimento, nota-se que a imagem é capturada com uma parte de sobreposição como mostra a figura 47.

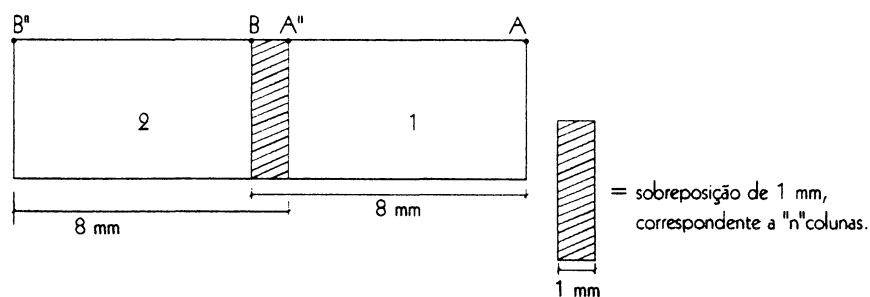


Figura 47 - Sobreposição de imagem em razão do deslocamento do OR 1 (7mm) ser menor que a dimensão do quadro capturado pelo sensor.

Recordando o que já foi comentado no item 3.4.3 (*captura automatizada*), nota-se que o tempo que demora a varredura (*deslocamento de 7mm*) é

maior do que o tempo necessário para digitalizar, salvar e transferir a imagem capturada para a RAM.

A parte de sobreposição garante que toda área foi capturada. Essa sobreposição será eliminada na fase da junção dos quadros (ou *ajuste final de imagem*). O número de colunas a serem descartadas é facilmente calculado, uma vez que se conhece o tamanho do *pixel* (μm) e o da sobreposição (mm). E, dessa forma, não se necessita da complexa etapa, que é a correlação de imagem.

Para enfatizar, a figura 48 abaixo mostra partes do objeto real que não foram digitalizadas por causa do não sincronismo entre deslocamento, envio do sinal e captura do quadro.

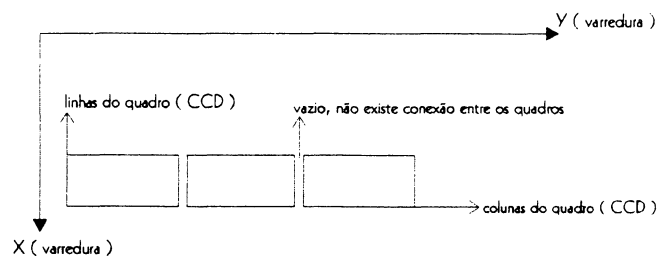


Figura 48 - Os eixos da CCD e da varredura são paralelos, mas não existe sincronismo entre o deslocamento e a tomada do quadro.

Ao final da varredura de uma linha do diapositivo (230 mm), comanda-se o OR 1 para deslocar, no sentido "X" (OR 1), 460 linhas, deixando-se 20 linhas de sobreposição, conforme se vê na figura 49.

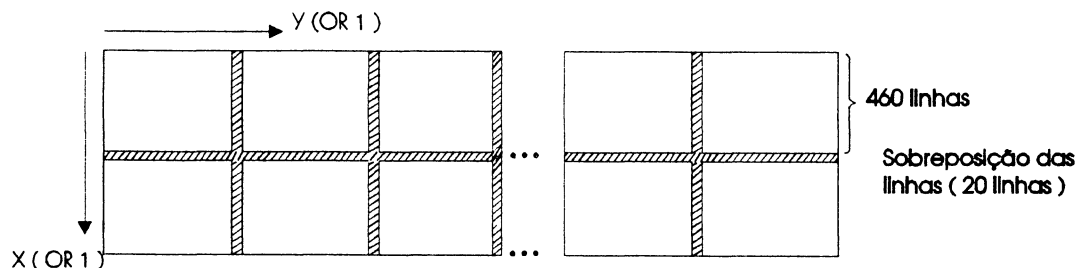


Figura 49 - A sobreposição ao longo da varredura no sentido do eixo Y (OR 1) e do eixo X (OR 1).

3.5.5 Nivelamento do Plano do Sensor da Câmera CCD

O plano do sensor da câmera CCD e o plano do porta-placa devem estar paralelos. O não paralelismo entre esses planos deforma a geometria da imagem capturada, como mostram as figuras 50 a 58. O procedimento para correção é atuar nos três parafusos calantes do suporte da câmera CCD, até que a imagem capturada apresente coordenadas de imagem dos vértices de um retângulo, formado pela varredura do OR 1. Considerou-se, neste trabalho, que o porta-placa do OR 1 apresenta-se plano.

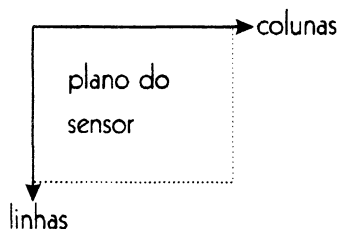


Figura 50 - Plano do sensor da CCD.

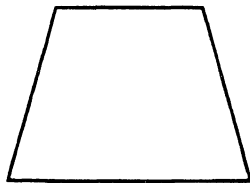


Figura 51 - A linha inferior do plano do sensor está mais distante do porta-placa, que a linha superior.

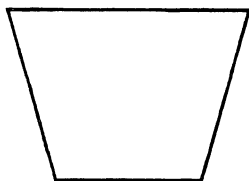


Figura 52 - A linha superior do plano do sensor está mais distante do porta-placa, que a linha inferior.

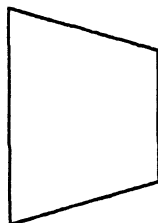


Figura 53 - A coluna lateral esquerda do plano do sensor está mais distante do porta-placa, que a coluna lateral direita.

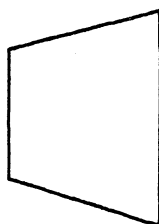


Figura 54 - A coluna lateral direita do plano do sensor está mais distante do porta-placa, que a coluna lateral esquerda.

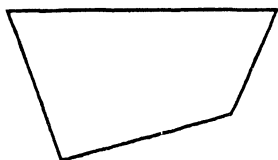


Figura 55 - A coluna lateral direita e a linha inferior do plano do sensor estão mais próximas do porta-placa.

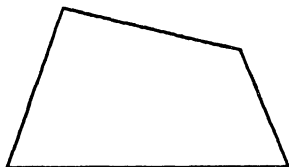


Figura 56 - A coluna lateral direita e a linha superior do plano do sensor estão mais próximas do porta-placa.



Figura 57 - A coluna lateral esquerda e a linha superior do plano do sensor estão mais próximas do porta-placa.

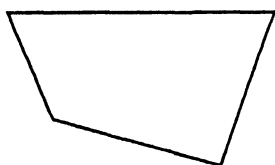


Figura 58 - A coluna lateral esquerda e a linha inferior do plano do sensor estão mais próximas do porta-placa.

O procedimento para nivelar o plano do sensor da câmera CCD, em relação ao porta-placa do OR 1, foi o seguinte:

Utilizou-se uma das cruzes gravadas no porta-placa do OR 1. Comandou-se o OR 1 para que ele varresse uma área correspondente a um retângulo de 7mm x 5 mm, para caber na tela do monitor. Em cada imagem, são conhecidas as coordenadas do sistema do OR 1 e do sistema de imagem (*linhas e colunas*). As imagens obtidas são as seguintes:

1.ª captura

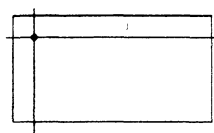


Figura 59 - O centro da cruz está na parte superior da lateral esquerda da tela do monitor.

2.ª captura

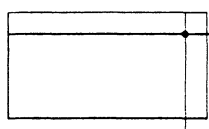


Figura 60 - O centro da cruz foi deslocado de 7mm ao longo do eixo Y (OR 1), permanecendo a abscissa X (OR 1). Com isso, o centro da cruz está na parte superior e lateral direita da tela do monitor.

3.ª captura

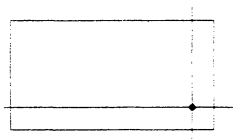


Figura 61 - O centro da cruz foi deslocado de 5mm ao longo do eixo X (OR 1), permanecendo a coordenada Y (OR 1). Com isso, o centro da cruz se encontra na parte inferior direita da tela do monitor.

4.ª captura

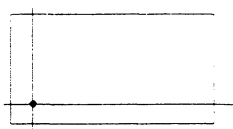


Figura 62 - O centro da cruz foi deslocado de 7mm ao longo do eixo Y (OR 1), permanecendo a abscissa X (OR 1). Com isso, o OR 1 varreu uma área correspondente a um retângulo de 7mm x 5mm .

Quando os planos do sensor e do porta-placa estão paralelos, as coordenadas de imagem (*linhas e colunas*) do centro da cruz também são coerentes à medição dos vértices de um retângulo, como mostra a tabela 10.

CAPTURA	Coordenada OR 1 (mm)	Coordenada de Vídeo
1	X = 5 Y = 5	linhas = 70 colunas = 70
2	X = 5 Y = 12	linhas = 70 colunas = 500
3	X = 10 Y = 12	linhas = 340 colunas = 500
4	X = 10 Y = 5	linhas = 340 colunas = 70

Tabela 10 - Coordenadas no sistema de eixos do OR 1 e no sistema de vídeo dos quatro vértices de um retângulo.

3.5.6 Ajuste da Iluminação do Porta-placa

A imagem capturada pode estar com excesso de iluminação, ou com iluminação deficiente, ou, ainda, com iluminação considerada adequada.

A iluminação do porta-placa, como já mencionado no item 3.3.9, pode ser regulada através de um potenciômetro (*dimmer*). A iluminação mais adequada é encontrada observando-se, no monitor, a imagem mais nítida.

Visualmente, nota-se que as feições mais claras do diapositivo não são identificadas quando a iluminação é excessiva. Por outro lado, quando a iluminação é deficiente a imagem se apresenta escura. A iluminação mais adequada é obtida por tentativa. A análise é visual e dependente do operador.

3.6 Testes

3.6.1 Considerações Iniciais

Ao longo da elaboração deste trabalho foram realizados diversos testes, referentes à fixação da câmera CCD, à orientação do sistema e à comunicação das CPUs, os quais já foram descritos no desenvolvimento do projeto, tais como: 1- fixação da CCD no porta-diafragma do OR 1 (*página 43*); 2 - fixação da CCD sobre o porta-placa do OR 1 (*página 52*); 3 - iluminação (*página 56*); 4 - focalização (*página 75*); 5 - paralelismo entre o plano do sensor da CCD e o plano do porta-placa (*página 86*); 6 - paralelismo entre os eixos do sensor da CCD e os eixos de varredura do OR 1 (*página 79*); 7 - cálculo da dimensão do objeto real representado por um *pixel* (*página 82*); 8 - cálculo do tempo de deslocamento do OR 1 (*página 84*); 9 - captura automatizada dos quadros (*página 65*); e 10 - comunicação entre as CPUs (*página 54*). A análise dos resultados desses testes é apresentada no capítulo seguinte.

3.6.2 Precisão Geométrica da Varredura do OR 1

Verificou-se a precisão geométrica do mecanismo de varredura do OR 1 para comprovar o que seu manual afirma: 5 microns. O teste foi realizado da seguinte forma: colocou-se a marca de referência da ocular do OR 1, nas coordenadas $X = 0$ e $Y = 0$ sobre um dos nós da placa de vidro, *reseau*. O próximo passo foi comandar o OR 1 para ir até as posições $X = 0$ e $Y = 200$; depois $X = 200$ e $Y = 200$; a seguir $X = 200$ e $Y = 0$; e, finalmente, voltando-se ao ponto inicial $X = 0$ e $Y = 0$. A marca de referência, visualmente, voltou, com exatidão, ao ponto inicial. A figura 63, que segue, ilustra as operações que foram realizadas.

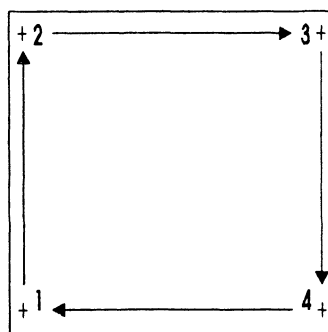


Figura 63 - Deslocamento do mecanismo de varredura do OR 1 sobre quatro nós da placa de cristal-reseau, para verificar sua precisão geométrica.

Além disso, o que se fez foi capturar as imagens das cruzes 1, 2, 3 e 4, e medir as coordenadas de vídeo do centro de cada uma delas. Depois disso, comandou-se a varredura do OR 1 para posições aleatórias e para as posições iniciais (cruzes 1, 2, 3 e 4). Novamente, foram capturadas e medidas as imagens das cruzes. Não se notou diferença entre as coordenadas de vídeo das imagens capturadas na primeira e na segunda vez.

3.6.3 Qualidade Visual do Mosaico

Comparou-se a imagem digitalizada no *scanner* comercial DSW 100 da Helava com o mosaico formado por quadros digitalizados pelo sistema CCD-OR 1.

A comparação pode ser feita observando as figuras 64 e 65, em que se nota sensível superioridade na iluminação da imagem digital produzida pelo *scanner* DSW 100 da Helava, onde cada *pixel* corresponde a 10 microns no objeto real, enquanto cada *pixel*, produzido pelo sistema CCD/OR 1, corresponde a 74 microns. Por isso, a imagem da figura 64 foi ampliada 6 vezes antes de ser impressa, para se comparar as imagens com resoluções semelhantes.



Figura 64 - Imagem convertida da forma digital para a analógica. A digitalização foi feita no scanner Helava DSW 100.



Figura 65 - Imagem convertida da forma digital para a forma analógica. A digitalização foi feita no sistema CCD/OR 1.

Na figura 65, observa-se que a junção dos quadros não é perfeita. Isso ocorreu em virtude de se ter descartado, por engano, mais colunas e linhas do que se devia. Além disso, surgiram defeitos nas roscas das braçadeiras do suporte do OR 1, que levaram a instabilidade do referido suporte e à conseqüente falha na orientação do sistema.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Baseado nos testes que foram realizados (citados no item 3.6) procedeu-se a análise dos resultados obtidos, a seguir descrita.

4.1 Capacidade da RAM e do Disco Rígido

Cada quadro (640×240) é armazenado na RAM e ocupa 153,6 Kb. No final de cada linha varrida (230 mm), 33 quadros foram transferidos para a RAM, ou seja, $33 \times 153,6 \text{ Kb}$, igual a 5,07 Mb. Neste momento final de uma linha, os dados são transferidos para o disco rígido do computador hospedeiro. Portanto, para digitalizar um diapositivo de $230 \text{ mm} \times 230 \text{ mm}$, a capacidade de memória exigida no HD é de 40 linhas \times 5,07 Mb, igual a 203 Mb, lembrando-se que, após a fase de pré-processamento, esse espaço diminuirá para 102 Mb em função do descarte das colunas pares (ou ímpares).

4.2 Placa Digitalizadora

A placa ISA de 16 bits, que foi usada neste trabalho, transfere 2 pixels de cada vez, enquanto uma placa PCI, de 32 bits, transfere 4 pixels de cada vez; sendo assim, esta última é mais recomendada, pois a velocidade da operação do sistema pode ser aumentada e, conseqüentemente, o tempo de digitalização diminuído. Convém salientar que a câmera CCD deve ser compatível com a placa digitalizadora. Normalmente as câmeras CCD são compatíveis tanto com a placa ISA quanto com a placa PCI.

4.3 Iluminação por Baixo do Porta-Placa do OR 1

A imagem capturada com a iluminação atual será melhorada usando-se o tubo extensor (*figura 25, página 58*), porque a imagem capturada será de apenas 8,8 mm x 6,6 mm no objeto real, e, sendo assim, a variação da intensidade de luz será menor. Também recomenda-se a colocação de mais uma lâmpada na caixa de iluminação, na posição oposta à lâmpada que já existe, a fim de homogeneizar a intensidade da iluminação.

Usou-se como tampa (*parte superior*), uma placa de acrílico leitoso (*ver página 56*); porém, após vários testes, verificou-se que a referida chapa (*tampa*) apresentou deformação devido ao calor da lâmpada. Recomenda-se substituí-la por vidro leitoso de 3 ou 4 mm de espessura.

Ainda quanto à referida iluminação, poder-se-á usar uma lâmpada LED, pois usando-se o extensor para afastar a lente do sensor da CCD, a área do objeto real, a ser capturada, é no máximo de 8,8 mm x 6,6 mm. Um teste, usando lâmpada LED, foi realizado; porém sem sucesso, porque a área do objeto real capturada pelo sensor era 9 vezes maior que o sensor e maior que a área iluminada pela lâmpada LED. O motivo, como já explicado (*ver página 57 e 58*), foi a falta de extensor para colocar a lente numa posição mais adequada.

4.4 Qualidade Visual do Produto

Alguns testes foram feitos e os resultados visuais foram satisfatórios; porém percebeu-se uma sensível diferença na qualidade da mesma imagem digitalizada pelo scanner Helava DSW 100 quanto à iluminação, que se apresentou mais homogênea (*ver figuras 64 e 65*). O sistema de digitalização descrito neste trabalho ainda é carente de melhor iluminação. Tentou-se aplicar um filtro para homogeneizar a iluminação, mas o resultado permaneceu deficiente.

A imprecisão geométrica da junção dos quadros é também visível, porque o sistema ainda carece de melhor precisão durante a sua orientação (*ver item 4.6*).

4.5 Conhecimento da Posição X (OR 1), Y (OR 1) num Dado Instante

Até a realização do último teste, deste trabalho, não foi possível elaborar um programa para enviar o sinal de captura do quadro, quando o OR 1, sem interromper a varredura, atinge determinada posição X (OR 1), Y (OR 1). Isso deveu-se à falta de conhecimento específico dos programas do funcionamento dos servomotores do OR 1. Estes programas específicos só são conhecidos pela Wild e pela já referida ABC Co. Foram tentados vários contatos com técnicos daquelas empresas no sentido de obter tal conhecimento, mas sem sucesso.

O envio do sinal de captura do quadro, quando o OR 1 atinge determinada posição, sem interromper a varredura, é importante, pois se pode evitar as colunas e linhas de sobreposição e fazer o sistema operar com mais rapidez na fase de junção dos quadros. Da maneira como está hoje, a varredura é interrompida a cada 7 mm por 500 milissegundos para se ter certeza da posição em que o OR 1 se encontra, e, então, enviar o sinal de captura. Por isso, hoje, para se digitalizar um diapositivo (230 mm x 230 mm), demora-se 1 minuto para varrer uma linha de quadros e 42 minutos para se varrer todo o diapositivo.

4.6 Suporte da Câmera CCD

O suporte, construído em latão (*páginas 53*), apresentou-se muito pesado. Além disso, as peças não foram torneadas com mecânica de precisão, resultando em roscas mal executadas, parafusos que não proporcionaram os pequenos movimentos desejados para os ajustes da orientação do sistema. Assim, recomenda-se um novo suporte construído com material mais leve (*por exemplo, o alumínio*). E, um cuidado muito especial na escolha do profissional para tornear as peças com precisão. O projeto mecânico do suporte foi bem concebido.

O peso do suporte fez com que a parte onde é fixada a CCD ficasse mais baixa (*isto é, pendida para baixo*). Isso foi solucionado provisoriamente através de alças presas no suporte da CCD e fixadas no teto do ambiente (*estrutura metálica*).

que protege o conjunto do OR 1). Mas não foi suficiente para se conseguir a perfeita orientação do sistema, e refletiu na junção dos quadros, como se vê na figura 65, página 91.

4.7 Utilização das Ferramentas do Software Global Lab Image

Algumas ferramentas do software *GLI*, como já mencionado, são úteis para se obter a indicação de melhor foco, tamanho do *pixel* no mundo real, comprimento de segmentos de retas e coordenadas de imagem. Porém, recomenda-se um estudo mais aprofundado desse assunto, no sentido de se poder utilizar as referidas ferramentas sem ter que sair do programa para buscá-las. Isto agilizaria a orientação do sistema.

4.8 Câmera CCD Operando do Modo Não Entrelaçado

O Manual do Usuário, referente à câmera CCD utilizada, afirma que ela pode operar também no modo não entrelaçado. Porém, optou-se pelo modo entrelaçado, uma vez que a placa digitalizadora DT55 só opera no modo entrelaçado. Recomenda-se a aquisição de uma placa digitalizadora para operar no modo não entrelaçado, a fim de agilizar a fase de pré-processamento. Entretanto, desse modo, alerta-se para se trabalhar com maior velocidade de captura da CCD para que não ocorra o efeito de arraste. Alerta-se, também, que, aumentando-se a velocidade da captura, tem-se que melhorar ainda mais a iluminação.

4.9 Diferença na Escala da Imagem Capturada Causada pelo Uso de Lentes na Câmera CCD

Para que não haja diferença entre a escala da imagem digitalizada e a escala do objeto real, é necessário que a distância entre o sensor e a lente e a distância entre a lente e o objeto real, sejam iguais. A figura 66 abaixo procura esclarecer o texto.

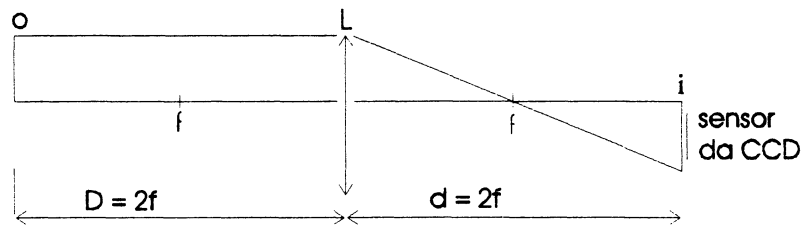


Figura 66 - O sensor captura só a parte central da imagem formada após a lente.

A distância entre o sensor e a lente deve ser de 2 vezes a focal (f), e para isto foi construído o extensor descrito na página 58 e mostrado na figura 25.

4.10 Custo do Sistema

Os custos são de aproximadamente US\$ 5 000, sem considerar os custos dos microcomputadores, que se supõe já existirem na empresa que desejar montar esse sistema de digitalização.

4.11 Disposição Física dos Equipamentos

Os equipamentos (*computadores, monitor externo, OR 1*) devem ser dispostos fisicamente de forma tal que facilita o operador a se movimentar em torno do conjunto de equipamentos, pois necessita observá-los e operá-los na etapa da orientação do sistema.

As figuras 67 e 68 abaixo mostram uma proposta de como pode ser essa disposição.

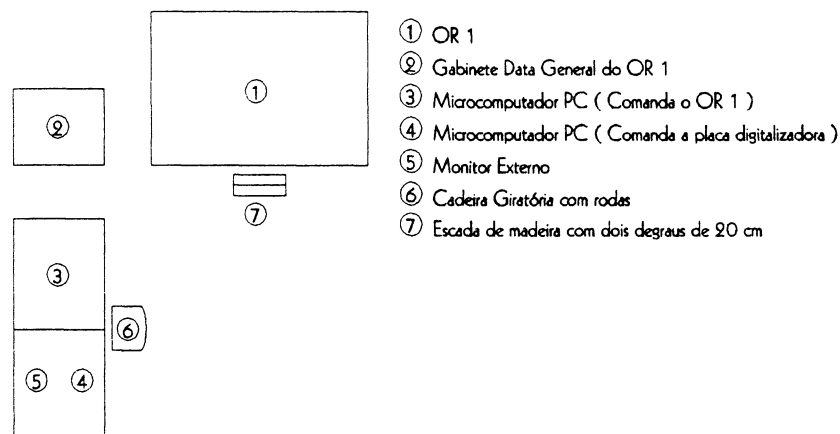


Figura 67 - Proposta da disposição física dos equipamentos (*vista em planta*).

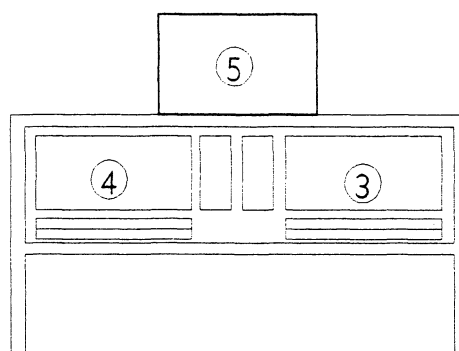


Figura 68 - Vista frontal dos computadores e do monitor externo.

4.12 Compactação de Dados

A compactação de dados, no caso de uma imagem digital, pode ser bastante útil em casos de arquivos em disco rígido ou em discos comuns para transferir a imagem de um computador para outro, ou até mesmo para transferir os dados de um computador para outro via rede interligada, como por exemplo a Internet. *Softwares* que compactam a imagem, como por exemplo JPEG e MPEG, conseguem altas taxas de compactação (*por exemplo 30 por 1*), dependendo dos parâmetros fixados na hora da compressão. Porém, o uso de compactadores reduz a portabilidade. Nem todos os *softwares* de processamento e análise de imagem digital são apropriados para descompactar a gravação. Neste trabalho, algumas vezes necessitou-se transferir dados de uma máquina para outra. Para isso, usou-se o *software* PKZIP que não é indicado para esse fim, pois sua taxa de compactação é pequena (*reduz o espaço de armazenamento, no máximo em 30%*).

4.13 Inicialização do OR 1

O OR 1 somente opera se o tambor, que comporta o filme fotográfico, estiver devidamente posicionado. Seu posicionamento, sobre uma chave interruptora, faz com que o programa reconheça que o OR 1 está pronto para operar. Porém, para realizar a função de digitalizador, objeto deste trabalho, não há necessidade de se usar o tambor. Então, para se inicializar o OR 1, sem o tambor, é

preciso um segundo operador para ligar aquela chave interruptora, a fim de simular a colocação do tambor. Por isso, deve-se colocar o tambor, sem o filme fotográfico, apenas para que ele faça a ligação da chave.

4.14 Teste sem Usar Lente na Câmera CCD

Tentou-se, neste trabalho, um teste sem usar o conjunto de lentes na câmera CCD, a fim de verificar a possibilidade de se obter o foco dessa maneira, porém sem sucesso por causa da distância que havia entre o sensor da câmera CCD até o objeto real; não se conseguiu a focalização, pois necessitava-se de maior aproximação.

Sugere-se a retirada da carcaça da CCD para se ter acesso ao sensor, ou, pelo menos, ao filtro que antecede o sensor. Com isso pode-se aproximar mais o sensor até o objeto real no sentido de se obter a focalização, sem o uso do conjunto de lentes.

4.15 Cabo de Ligação entre as Duas CPU(s)

Já foi comentado que neste trabalho usou-se o cabo paralelo (*página 54*). Porém, a ligação poderia ter sido feita, também, através do cabo serial. Para essa opção, recomenda-se a aquisição do cabo serial cruzado, uma vez que se vai trabalhar com DTE (*Data Terminal Equipment*). A opção pelo cabo serial é possível, mas convém salientar que a velocidade de transmissão é mais baixa, pois a transferência se faz *bit a bit*, enquanto via cabo paralelo a transmissão se faz *byte a byte* (*8 bits de cada vez*). Além disso, a programação é mais complexa, e as CPU(s) têm que trabalhar na mesma velocidade.

4.16 Aceleração e Desaceleração do Mecanismo de Varredura do OR 1

Embora seja imperceptível, existe um tempo de aceleração para que a varredura atinja uma velocidade constante; e, no final da linha varrida, existe também um tempo de desaceleração até que o mecanismo pare e mude de linha.

Para não correr o risco de capturar quadros com diferentes sobreposições de colunas, o início da varredura deve ser previsto cerca de 10 mm antes do ponto a ser digitalizado, e o encerramento da varredura 10 mm após o último ponto digitalizado.

4.17 Sensor Array Linear ou Matricial

Neste trabalho teve-se que utilizar o sensor da câmera CCD, com formato matricial (*quadrado ou retangular*), composto por linhas e colunas, em função da velocidade do OR 1 e da velocidade de digitalização. Como já comentado, na página 47, usou-se um sensor de 640 colunas e 480 linhas. O tamanho físico deste sensor é de 8,8 mm x 6,6 mm. A única limitação, neste trabalho, para não se adquirir a câmera CCD com *array* linear é a do tempo, bem maior, para varrer uma área de 230 mm x 230 mm. A varredura teria que ser no sentido do eixo horizontal dos elementos sensores (*figura 69*), para se ter tempo de salvar os quadros capturados, enquanto o OR 1 avança para a próxima posição. A mudança de linha seria apenas 1 *pixel*, e, por isso, a afirmação de que o tempo de varredura seria maior.

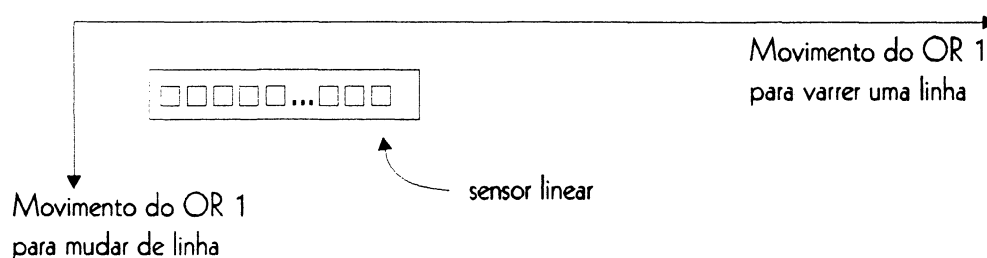


Figura 69 - Sensor com *array* linear disposto na forma X colunas por uma linha.

Convém salientar que esta afirmação se aplica neste trabalho em razão do *hardware* e *software* disponibilizados. Porém, com outras configurações de *hardware* e *softwares* mais eficientes, poder-se-á obter melhores resultados, mesmo usando sensor com *array* linear, como é o caso do *scanner* comercial RM-1 da Wehrli.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Introdução

O objetivo deste trabalho foi o de melhorar o aproveitamento do OR 1, adaptando nele uma câmera CCD para digitalizar diapositivos de fotografias aéreas 230 mm x 230 mm.

No capítulo 3 - Desenvolvimento do Sistema, foi mencionado que, no OR 1, há dois lugares onde é possível instalar a câmera CCD: a) no porta-diafragma, ou, b) sobre o porta-placa.

Assim, a partir da pesquisa bibliográfica, do desenvolvimento teórico-prático e da análise dos resultados dos testes experimentais, concluiu-se e recomenda-se o que segue.

5.2 Quanto à Câmera CCD Instalada no Porta-diafragma

Foi mencionado, no capítulo 3, página 43, que a instalação da câmera CCD no porta-diafragma apresenta quatro problemas; lembrando: 1 - Sombras escuras nas partes superior e inferior de cada quadro capturado; 2 - Velocidade de processamento menor do que a velocidade de varredura; 3 - Comando do OR 1 sobre o eixo de varredura X; e, 4 - O tamanho da imagem, que chega no porta-diafragma, duas vezes maior do que o original (*diapositivo*). Esses problemas foram detectados ao longo de 1996. Em 1997, a pesquisa tomou outro rumo, colocando-se a câmera CCD sobre o porta-placa do OR 1.

Porém, ao longo de 1997, paralelamente ao desenvolvimento da pesquisa, com a câmera CCD instalada sobre o porta-placa do OR 1, foram encontrados meios para tentar solucionar aqueles quatro problemas citados. Portanto,

hoje, tem-se mais conhecimento para buscar soluções para aqueles problemas, como se descreve adiante:

1 - O Problema das Sombras Escuras pode ser solucionado eliminando-se 160 linhas da parte superior e 160 linhas da parte inferior do quadro capturado. Em outras palavras, descartam-se 320 linhas e são gravadas apenas 160 linhas livres de sombras escuras.

2 - A Velocidade de Processamento *versus* Velocidade de Varredura pode ser melhorada de duas formas: a) trabalhando-se com um microcomputador PC mais veloz, ou b) agregando-se à placa digitalizadora maior capacidade de memória para o *frame grabber*, evitando a transferência "on-line" para a RAM.

3 - O Comando do OR 1 sobre o eixo de varredura X deixa de ser um problema, se o problema anterior pode ser resolvido.

4 - O Tamanho da Imagem que chega no porta-diafragma, pode ser solucionado de duas formas: a) por *software*, ou seja a cada quatro *pixels* capturados grava-se apenas 1 (*um*), ou b) colocando-se um sistema de lentes na câmera CCD que possibilite capturar a imagem na escala 1:1.

A instalação da câmera CCD no porta-diafragma apresenta, também, quatro vantagens perante a instalação sobre o porta-placa do OR 1: a) além de digitalizar o diapositivo, é possível capturar a imagem da ortofoto analógica produzida pelo OR 1; b) o suporte da câmera CCD é mais simples, menor e mais leve; c) a orientação do sistema é mais rápida; e, d) não necessita de um sistema de iluminação.

5.3 Quanto à Câmera CCD Instalada sobre o Porta-placa

Todos os problemas e possíveis soluções já foram mencionados no capítulo anterior. Mas, neste capítulo, enfatizam-se dois deles, por serem considerados mais significativos e que resumem os problemas enfrentados.

O primeiro é a iluminação, em que foram tentados vários sistemas de iluminação, mas ainda sem sucesso. O segundo refere-se à construção de um suporte

mais leve para a câmara CCD, a fim de se obter a orientação com mais exatidão e, conseqüentemente, obter-se a junção dos quadros com mais perfeição.

5.4 Sinal para Capturar o Quadro Durante a Varredura

Este é um problema que afeta tanto no caso da câmara CCD instalada no porta-diafragma, quanto no caso da câmara CCD instalada sobre o porta-placa do OR 1.

Na continuidade dos testes, deste trabalho, tentar-se-á duas soluções: 1 - obter o apoio de engenheiros de manutenção do OR 1, a fim de se enviar por *software* o sinal para captura do quadro; e, 2 - com o apoio de engenheiros eletrônicos, construir uma ligação entre os contadores dos *encoders*, da varredura, com a CPU que controla o OR 1, pois desta forma será possível detectar o instante em que a varredura atingiu as coordenadas (X, Y) programadas para enviar o sinal de captura do quadro.

5.5 Confiabilidade do Mosaico

Sobre a confiabilidade do mosaico, recomenda-se a digitalização da placa de cristal-*reseau*, descrita no item 3.3.8. A digitalização dessa placa vai possibilitar a medição, no monitor, de distâncias previamente conhecidas. A distância medida, através das coordenadas de imagem, vai indicar a existência de sobreposição de quadros, ou existência de falhas entre um quadro e outro. A digitalização do *reseau* mostra, também, se há descontinuidade de feições retas motivadas pela falta de paralelismo dos eixos do sensor da câmara CCD em relação aos eixos de varredura do OR 1.

5.6 Considerações Finais

A análise dos resultados nos mostra que é viável ampliar a proposta deste trabalho para implantar sistemas semelhantes em outros equipamentos, tais como: Ortoprojetor Orthocomp, da Zeiss; Restituídor Analítico BC 1, da Wild; e o Restituídor

Ana1ítico Planicomp, da Zeiss, pois todos eles possuem um movimento X, Y servo-controlados e com precisão geométrica de suas coordenadas, na ordem de 5 μm .

Embora a imagem digital produzida neste trabalho ainda não se apresenta com iluminação homogênea, nem com a junção perfeita dos quadros capturados, conclui-se que a proposta deste trabalho é viável. A análise dos resultados dos testes até aqui realizados orienta para as próximas etapas da pesquisa, no sentido de se obter a melhoria do sistema e torná-lo competitivo. O seu custo é menor do que qualquer outro oferecido atualmente no mercado.

GLOSSÁRIO

ABERRAÇÃO ESFÉRICA - os raios incidentes no sistema ótico, provenientes do infinito, focalizam-se no plano focal. Porém, na existência de aberração cromática, um raio que incida nas proximidades das bordas das lentes (*raio paralelo ao eixo ótico*) não será focalizado no plano focal.

ALGORITMO - em programação, é o nome dado ao conjunto de operações necessárias à solução de um problema.

AMBIENTE WINDOWS - é uma plataforma gráfica que oferece ao usuário uma *interface* visual com o sistema operacional da máquina.

ANGSTRON - unidade de comprimento usada em Espectroscopia, e que vale um centésimo-milionésimo de milímetro.

ARRAY LINEAR - arranjo linear de elementos fotossensores existentes nas câmeras CCD.

ARRAY MATRICIAL - arranjo matricial de elementos fotossensores existentes nas câmeras CCD.

ASTIGMATISMO - para apresentar o efeito do astigmatismo pode-se considerar a seguinte situação: um ponto ligeiramente afastado do eixo ótico e dos feixes de raios: um feixe de raios que propaga na direção horizontal (*plano sagital*) e outro feixe de raios que propaga na direção vertical (*plano tangencial*). A imagem do ponto formada pelos raios que se propagam na direção horizontal formam-se numa posição, enquanto a imagem formada pelos raios que propagam na outra

direção (*tangencial*) se formam numa outra posição, provocando o astigmatismo. As superfícies, nas quais estes pontos se formam, são superfície tangencial e superfície sagital. Em outras palavras, é a aberração apresentada por uma objetiva que se manifesta pela diferença de nitidez entre as linhas horizontais e as verticais.

B-8 - equipamento analógico para a produção de cartas.

BANCO DE DADOS - é o nome dado a um conjunto de dados organizados de maneira lógica, ou seja, numa sequência que permite acesso rápido e simples.

BIBLIOTECA - conjunto de programas mantidos à disposição do usuário de um computador.

BINARIZAR A IMAGEM - tornar a imagem digital monocromática, só com *pixels* pretos e brancos.

BIT - (*binary digit*). 1. Unidade binária de quantidade de informação de um sistema.
2. Informação representada por um símbolo de dois valores, geralmente zero e um (*notação binária*), associados aos dois estados de um dispositivo.

BUFFER - área de memória que recolhe temporariamente as informações, destinadas a uma parte do sistema informático e, provenientes de outra parte.

BYTE - 8 bits.

CABO PARALELO - é uma comunicação que liga a CPU a um periférico de saída (*impressora, plotter e outros*).

CAIXA DE DIÁLOGO - quadros que são mostrados na tela do monitor para informar dados ou solicitar dados ao usuário.

CALIBRAÇÃO - manejo de dispositivos, a fim de que as medidas realizadas por eles não ultrapassem valores prefixados de erros admissíveis.

CÂMERA CCD - equipamento que captura a luz e dá saída a correspondentes cargas elétricas (*Volts*), que variam de acordo com a intensidade de luz.

CARTOGRAFIA ANALÓGICA - ou cartografia convencional. Conjunto de estudos e técnicas para elaboração de cartas através de aparelhos traçadores analógicos (*manuals*), ou seja, não automáticos.

CARTOGRAFIA DIGITAL - processo de confecção de mapas ou cartas através de computadores e/ou dispositivos computadorizados.

CHIP - pastilha de material semicondutor sobre a qual é implantado um circuito integrado.

CÓDIGO FONTE - conjunto de instruções em linguagem de máquina ou simbólica que constituem um programa. Conjunto de regras que permitem representar dados de uma maneira luminosa, sob uma forma discreta, com a finalidade de facilitar seu tratamento ou sua transmissão.

COMA - a aberração do tipo "coma" é similar à aberração esférica, mas ela faz com que os pontos bem afastados do eixo ótico sejam projetados não como um ponto, mas como uma gota ou como uma pequena cauda (*o nome "coma" é derivado de cauda, como cauda de um cometa*).

COMPACTAÇÃO DE DADOS - modo que se tem para reduzir dados na memória do computador.

COMPILAÇÃO - tradução de um programa escrito em linguagem evoluída para um programa equivalente em linguagem de máquina.

COORDENADAS DA IMAGEM - ou coordenadas de vídeo. Um ponto pode ser referenciado através do número da linha e do número de coluna onde ele se encontra.

CURVATURA DE CAMPO - considerando que um sistema ótico livre das aberrações esférica, coma e astigmatismo, a imagem dos pontos são formadas, não num plano, mas numa superfície (*superfície de Petzval*). A curvatura de campo é justamente a curvatura desta superfície. Em outras palavras, é a aberração de um sistema ótico centrado, que produz uma imagem não plana de um objeto plano suficientemente amplo. (*A superfície focal do sistema não é plana.*)

DADOS GEOREFERENCIADOS - ou informações georeferenciadas. São dados alfanuméricos geograficamente referenciados às informações gráficas de um mapa.

DIPOSITIVO - diapositivo é a fotografia positiva copiada num material transparente.

DIFRAÇÃO DA LUZ - fenômeno que se produz quando as ondas, qualquer que seja a sua natureza, encontram obstáculos ou aberturas, cujas dimensões são da ordem de grandeza do comprimento de onda, e que se traduz por perturbações na propagação dessas ondas (*contorno de obstáculos ou divergência a partir da abertura nesses obstáculos*). Em outras palavras, quando se utiliza uma fonte luminosa muito tênue, o contorno da sombra produzida por um corpo opaco é bordado de franjas alternadamente escuras e brilhantes, o que mostra que a luz não se propaga em linha reta, mas é desviada ao passar rente ao contorno dos corpos. Explicada por Fresnel por meio das interferências, a difração limita as possibilidades dos instrumentos de ótica.

DIGITAL - sinal composto de uma série de números binários (0 e 1) que constituem a perfeita tradução da mensagem original.

DIGITALIZAÇÃO EM MESA - processo de captura de informações através do uso de mesas digitalizadoras.

DIGITALIZAÇÃO ÓTICA - processo de captura de informações através do uso de *scanner*.

DIGITALIZAR - colocar a imagem no formato digital.

DIODO - (do grego *dis* (dois) + *hodos* (caminho)). Um diodo semicondutor permite a passagem da corrente de sua zona P, rica em lacunas, para a sua zona N, rica em elétrons. Tira-se proveito desse efeito para a detecção da corrente.

DISPLAY - mesmo que monitor de vídeo.

DISTORÇÃO DESCENTRADA - é aquela provocada pelo não alinhamento dos eixos das lentes de um sistema ótico.

DISTORÇÃO RADIAL - aberração que provoca deslocamentos na direção radial, a partir do ponto principal, podendo ser considerada como uma parcela da refração sofrida por um raio de luz, ao passar pelo sistema ótico.

DTM - ou *Digital Terrain Modelo* - modelo digital do terreno, muito freqüentemente usado como sinônimo de DEM (*Digital Elevation Model*). Representação cartográfica digital da superfície terrestre através de uma série de valores (*pontos*) de coordenadas tridimensionais.

ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS PLANIALTIMÉTRICOS - feições contidas numa carta ou num mapa, mensuráveis nas ordenadas X, Y e Z.

ENTRADA SERIAL - entrada de dados composta de uma única linha, sendo que os *bits* são incluídos um a um com determinado sincronismo.

EQUALIZAR O TERRA - tornar igual uma carga elétrica.

EQUIPAMENTO ANALÍTICO - neste contexto trata-se do restituidor analítico. Instrumento destinado à restituição de uma carta pela observação de modelos estereoscópicos, que se dá por processos inteiramente computadorizados. As fases de orientação do aparelho são comandadas totalmente pelo computador.

ESTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DE RESTITUIÇÃO DIGITAL - equipamento responsável pela elaboração de cartas ou mapas, com registro em meio magnético, a partir de fotografias aéreas digitalizadas e de dados de controle geodésico.

FEIÇÃO - representação de uma entidade geográfica, como um ponto, uma linha ou um polígono.

FERRAMENTAS - ou rotinas, partes de um programa, que realizam tarefa específica.

FILTRO - ferramenta para realizar tratamento da imagem, como: binarizar a imagem; obter mais brilho, contraste, detecção de bordas; homogeneização de iluminação, e outros.

FILTRO DE LIMEARIZAÇÃO - programa que binariza a imagem.

FILTRO SHARPEN - processamento de imagens para realçar brilho e contraste; normalmente usado para reforçar as partes claras.

FILTRO SOBEL - processamento da imagem com o objetivo de detectar bordas; normalmente usado para realçar feições específicas.

FOCO - ponto para o qual convergem os raios emitidos por uma fonte de luz.

FORMATO DE ARQUIVO - forma como um arquivo se apresenta, ou seja, modo como as informações (*gráficas ou texto*) são organizadas e armazenadas no disco.

FOTODIODO - diodo semicondutor no qual uma irradiação luminosa incidente determina uma variação da corrente elétrica.

FOTOGRAMA - qualquer fotografia obtida por uma câmera fotogramétrica.

FOTOGRAMETRIA - arte, ciência e tecnologia de obter informações confiáveis sobre objetos físicos através do uso de fotografias ou qualquer outro tipo de registro da energia eletromagnética.

FOTOGRAMETRIA DIGITAL - fotogrametria através de fotografias digitais e usando computadores e/ou dispositivos computadorizados.

FOTOSENSOR - mesmo que sensor.

FRAME BUFFER - memória de alta velocidade reservada para armazenar uma ou mais cenas, permitindo a sua rápida visualização no *display*.

FUNÇÕES - subprograma, cuja chamada é efetuada pelo compilador quando da ocorrência de seu nome numa expressão lógica ou aritmética.

GEODÉSIA - ciência que procura definir e situar as características naturais e físicas de grandes porções da superfície terrestre.

GEOPROCESSAMENTO - relaciona-se com as atividades de sensoriamento remoto, cadastros e outros tipos de pesquisa e investigação de campo para capturar dados e montar o banco de dados.

HARDWARE - conjunto formado pelos equipamentos de processamento de dados e seus elementos constitutivos como monitor, mouse, mesa digitalizadora, CPU, disco rígido, impressora, *plotter*, *scanner*.

HERTZ - unidade de frequência usual, definida como a frequência de um sistema oscilatório que realiza um período ou um ciclo em 1 segundo; símbolo Hz.

IMAGEM DIGITAL - é um conjunto de elementos de imagem especialmente ordenados em uma matriz bidimensional, cuja posição pode ser dada por (X, Y) , sendo que a cada elemento de imagem (*pixel*) é associado um tom de cinza, expresso genericamente por $g(X, Y)$.

INCLINAÇÃO DA FOTO - ângulo entre o eixo ótico da câmera e o eixo vertical perpendicular à superfície terrestre.

INSTRUÇÕES I/O - instruções para endereço de entrada e de saída de dados.

INTERFACE - é, em informática, um círculo eletrônico que controla a interligação entre dois dispositivos de *hardware* e os ajuda a trocar dados de maneira confiável.

LÂMPADA LED - (LED = *Light Emission Diode*).

MAINFRAMES - atualmente usado para designar grandes computadores, grandes CPUs (*computadores com alta velocidade de processamento e capacidade de armazenamento*).

MAPA DE LINHA - mapa ou carta onde se representam feições naturais, artificiais, texto e curvas de nível.

MARCA FLUTUANTE - é aquela que ocupa posição no espaço tridimensional formado pela fusão estereoscópica de um par de fotogramas, e que é usada como índice de referência para observação e a medição do modelo.

MARCA-CRUZ - um dos nós do reticulado, gravado na superfície da máscara.

MARCA DE REFERÊNCIA - marca fixa, em forma de um ponto preto, contida na ocular do OR 1.

MÁSCARA - material transparente e adesivo. Possui um reticulado gravado em sua superfície.

MEMÓRIA EM DISCO - espaço disponível em disco (*magnético ou ótico*) para armazenamento de informações.

MESA DIGITALIZADORA - mesa dotada de uma malha eletrônica e um cursor para entrada de informações que utiliza caracteres numéricos para representar dados contínuos.

MÍCRON ou micrometro - a milésima parte do milímetro.

MODELO - ou modelo estereoscópico. É a reconstituição, em escala, do modelo tridimensional do terreno. É propiciado pela superposição ótica parcial do par estereoscópico.

MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO - conjunto de pontos do terreno, eqüidistantes e com elevação conhecida, geralmente utilizados para gerar curvas de nível ou uma visão perspectiva do terreno (3 D).

MONITOR - dispositivo para saída (*visualização*) de informações; o mesmo que terminal de vídeo.

MONITORAR - avaliar dados obtidos por aparelhagem técnica.

MOSAICO - junção de vários quadros capturados pela câmera CCD.

MOVIMENTO φ - inclina, mais ou menos, as bordas laterais do plano do sensor.

MOVIMENTO ω - inclina, mais ou menos, as bordas superior e inferior do plano do sensor.

MS-DOS - ou simplesmente DOS (Disk Operating System). Sistema operacional monousuário mais usado em microcomputador, desenvolvido pela IBM e Microsoft e adotado como padrão.

OBJETO - neste trabalho significa o diapositivo da fotografia aérea, ou a placa de cristal (*reseau*), ou ainda o porta-placa, ou seja, o objeto que se digitaliza.

OCULAR DO OR 1 - sistema ótico de uma luneta, que serve para examinar a imagem fornecida pela objetiva.

ORIENTAÇÃO DO SISTEMA - conjunto de procedimentos: para encontrar a melhor focalização da imagem; para encontrar o paralelismo entre os eixos de varredura do OR 1 e os eixos do sensor da câmera CCD; para encontrar o paralelismo entre o plano do sensor da câmera CCD e o plano do porta-placa do OR 1; para ajustar

a iluminação; para ajustar a escala; e para determinar as posições do movimento da varredura do OR 1.

ORTOFOTO - fotografia resultante da transformação de sua original, que é uma perspectiva central do terreno, numa projeção ortogonal sobre um plano.

ORTOFOTO ANALÓGICA - é uma imagem fotográfica obtida, através de processos ótico-mecânicos (*analógicos*), de uma fotografia em perspectiva. O equipamento que a produz é o ortoprojetor.

ORTOFOTO DIGITAL - é uma imagem digital obtida através de processos computacionais a partir de uma fotografia aérea digitalizada, na qual os deslocamentos de imagem, devidos à inclinação e ao relevo, foram corrigidos matematicamente.

ORTOPROJETOR OR 1 - equipamento, da indústria Wild, que corrige a fotografia aérea, que é uma projeção cônica, ou central da influência do relevo e da inclinação da câmera, dando origem a ortofotografia (*fotografia ortogonalizada ou de projeção ortogonal*).

PAR ESTEREOSCÓPICO - quando se tem fotografias aéreas consecutivas que captam a imagem de um mesmo objeto, mas de diferentes estações, e que possibilite a visão binocular. Desta forma o observador pode perceber o relevo.

PARAFUSOS CALANTES - parafusos que servem para nivelar uma plataforma.

PASSOS - ou pulsos necessários para completar um giro (*ou uma revolução*).

PENTIUM - microprocessador de 5.^a geração, fabricado pela Intel. Nivela os micro PCs aos mainframes.

PERIFÉRICOS - dispositivos exteriores à unidade de processamento, podendo ser de entrada/saída (*impressoras, terminais, teclados*) ou memória (*discos ou fitas magnéticas*).

PIXEL - (*pixel elements*), menor parte de uma imagem, composta de elementos dispostos em linhas verticais e horizontais, espaçadas regularmente.

PLACA DIGITALIZADORA - ou "*frame grabber*", *hardware* que converte sinais analógicos em digitais.

PORTA DIAFRAGMA DO OR 1 - fenda ou ranhura, no OR 1, por onde sai a imagem retificada da fotografia aérea, ou por onde sai a imagem da ortofoto.

PORTA LPT1 - linha de comunicação com a impressora; também conhecida como porta paralela.

PORTA PARALELA - dispositivo de entrada ou de saída de dados em paralelos (*dispostos em canais paralelos*).

PORTA SERIAL - dispositivo de entrada ou de saída de dados em série (*dispostos em um único canal*); os dados são transferidos um a um seqüencialmente, sincronizados por velocidades específicas.

PORTABILIDADE - ou flexibilidade de um programa ser operado em mais do que um tipo de computador.

PORTA-PLACA DO OR 1 - placa de vidro, de 25 cm x 25 cm, onde é colocado o diapositivo.

PÓS-PROCESSAMENTO - processamento realizado após a captura das imagens.

POTENCIÔMETRO - reostato que permite obter uma tensão variável a partir de uma fonte de tensão constante.

PRÉ-PROCESSAMENTO - processamento realizado entre uma captura e a seguinte.

PROCEDIMENTO ITERATIVO - procedimento de repetição.

PROJEÇÃO CÔNICA OU CENTRAL - processo de redução de uma figura espacial para o plano. Dá-se através do traçado em perspectiva, onde cada ponto da figura (*terreno*) é ligado a um ponto de fuga (*centro perspectivo do sistema de lentes de uma câmera*) e daí projetado no plano de referência (*fotografia*).

PROJEÇÃO ORTOGONAL - processo de redução de uma figura espacial para o plano. Dá-se através da projeção de cada ponto da figura (*terreno*) perpendicularmente a um plano de referência (*planta*).

PULSO - o mesmo que pulso elétrico ou sinal elétrico.

QUADRO - uma imagem capturada pela câmera CCD.

QUANTIZAÇÃO - ou discretização, é a transformação de uma função contínua para uma função discreta. Neste trabalho, a quantização é espacial e radiométrica.

RAIO LASER - amplificação de luz por emissão estimulada de radiação.

RAIO X - radiação de natureza eletromagnética, cujo comprimento de onda está compreendido na faixa de 200 a 0,1 angstroms; foi descoberto por Röntgen, em 1895.

RAIOS CATÓDICOS - radiações compostas de feixes de partículas carregadas negativamente (*elétrons*), que se originam nos cátodos de tubos de Crookes; produzem ionização nos gases que atravessam e causam fluorescência nas paredes de vidro do tubo e em certas substâncias.

RESOLUÇÃO DE UMA IMAGEM - tamanho mínimo de detalhe que pode ser detectado na imagem.

RESOLUÇÃO DE VÍDEO DE TELA - ou simplesmente resolução. Medida normalmente expressa em pontos por polegada (*dpi - dots per inch*). Define a nitidez horizontal e vertical das imagens geradas por um dispositivo de saída, como um monitor, uma

impressora laser ou um *plotter*. Nos monitores, a resolução corresponde ao número de *pixels* exibidos na tela.

RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA - ver resolução de uma imagem.

REVOLUÇÃO - ou giro; seu movimento é dividido em passos.

RISC - ou *Reduced Instruction Set Computer*. Processador que reduz a um mínimo o número de instruções que ele pode executar, garantindo aumento significativo na velocidade do processamento. O objetivo é priorizar as instruções usadas com mais frequência e otimizá-las, tornando-as tão rápidas quanto possível. Indicado para executar aplicações gráficas e multimídia que envolvem grandes velocidades de processamento e agilidade no cálculo de operações com ponto flutuante.

ROTINAS - partes de um programa computacional; o mesmo de funções.

SAÍDA SERIAL - saída de dados composta de uma só linha, sendo que os *bits* são lidos um a um, com determinado sincronismo.

SCANNER - equipamento ótico de varredura, que captura imagens e as transfere para um computador.

SENSOR - dispositivo que capta e registra, sob a forma de imagem, a energia refletida. Em geral, o sensor é composto de elementos (fotossensores) dispostos em linhas e colunas.

SERVOMOTORES - motores comandados a distância; controlam um deslocamento em função de um comando mecânico ou elétrico. Os servomotores convertem sinais eletrônicos, vindos de um controlador, em movimentos mecânicos. A cada instante, a direção da corrente, no motor, pode ser trocada.

SINAL DE VÍDEO - sinais padronizados, coloridos ou monocromáticos, com características específicas, sendo diferenciados pelo número de quadros por segundo e

pelo número de linhas por campo. Os sinais de vídeo mais usuais são: NTSC; PAL; SECAM; RGB; RS-170; EIA e CCIR.

SINCRONISMO - aquilo que se passa ao mesmo tempo.

SINTAXE - ordem e disposição das instruções.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - também conhecido por SIG, é um conjunto de processos que, através do computador, fazem trabalhos de aquisição, gerenciamento, análise e apresentação de dados de um espaço geográfico.

SLOT - ranhura, fenda ou abertura na placa-mãe da CPU, onde se ajustam outras placas que vão comandar os periféricos ligados à CPU.

SOFTWARE - termo usado para denominar qualquer programa de computador.

STEPS - passos, referentes a motor de passo servocontrolado.

TABELA LUT - (*LUT = Look Up Table*); conjunto estruturado de informações organizadas seqüencialmente na memória de um computador (*cada elemento é referenciado por seu número de ordem ou índice*).

VISÃO ARTIFICIAL - sistema capaz de adquirir imagens de um objeto; capaz de processar, analisar e medir características, e, ainda, interpretar os resultados das medições e possibilitar tomadas de decisões.

WINCHESTER - o mesmo que HD (*Hard Disk*).

ZOOM - objetiva fotográfica de distância focal variável. Efeito ou movimento de aproximação ou de afastamento, obtido com esse tipo de objetiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Jair. Ortofoto Digital. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 1989.
- BÄHR, Hans Peter. Appropriate Pixel Size for Orthophotography. Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, University of Karlsruhe, Englerstrasse 7, D-7500 Karlsruhe 1, Germany, 1988.
- BEYER, H. A.. Linejitter and Geometric Calibration of CCD - Cameras. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 45, 17-32, 1990.
- CÂMARA, Gilberto. Anatomia de um SIG. Artigo apresentado na Revista Fator GIS - Jan./Fev./Mar./1994 - n.º 4. Sagres Editora.
- DÄHLER, J.. Problems in Digital Image Acquisition with CCD Cameras. Intercommission Conference of Fast Processing of Photogrammetric Data. Interlaken, Switzerland. 1987.
- FACON, Jacques. Processamento e Análise de Imagens. Obra editada pela VI Escuela Brasileña Argentina de Informática, em julho de 1993, 1.ª edição.
- GALO, Maurício. Calibração de Câmera Digital. Dissertação de Mestrado, elaborada no Curso de Ciências Geodésicas da UFPR. Curitiba- PR. 1990.
- GAYDOS, L. et alii. The Production of Orthophotography by Digital Image Processing Techniques. Technical Papers, 1986, ACSM-ASPRS Annual Convention, vol. 4, Photogrammetry: 241-249.

- GONZALEZ, Rafael C. e WINTZ, Paulo. Digital Image Processing . Addison Wesley Publishing Co., 1987, 2.^a edição.
- GROSSI, V. Donizete. Usando e Abusando do SIG. Artigo apresentado na Revista Fator GIS - Jan./Fev./Mar./1994 - n.º 4. Sagres Editora.
- GRUEN, A.W. & BEYER, H. A. Real-Time Photogrammetry at the Digital Photogrammetric Station (DIPS) of the ETH Zurich. The Canadian Surveyor, vol. 41, n.2, 1987.
- HUURNEMAN, Gerrit. A LOW COST SCANNER FOR SMALL FORMAT TRANSPARENT MATERIAL. Anais do XVII Congresso Internacional de Fotogrametria, Washington, D.C., USA, 1992.
- KAMGAR - PARSI, B. & KAMGAR - PARSI, B. Evaluation of Quantization Error in Computer Vision. IEEE Transactions on Pattern and Machine Intelligence, vol. 11, n.9, sep., 1989.
- KEATING, T. J. & Boston, D.R. Digital Orthophoto Production Using Scanning Microdensitometers. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol.45, n.6: 735-740, 1979.
- KERN, Jürgen. Hardware Components for Machine Vision System. Kontron Bildanalyse GmbH, Breslauer Strasse 2, 8057 Eching, Germany. The British Library Document Supply Centre, Boston Spa, Wetherby, West Yorkshire, U.K. LS23 7BQ. 1992.
- KONECNY, G.. Methods and Possibilities for Digital Differencial Rectification. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Volume 45, número 6. 1979.
- LENZ, R. K. & TSAI, T. Y. Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3D Machine Vision Metrology-IBM T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY 10598, sep. 30, 1986.

- MENEZES, Julio Cesar. O Futuro da Restituição Fotogramétrica. Artigo apresentado na Revista Fator GIS - Jan./Fev./Mar./1994 - n.º 4. Sagres Editora.
- MENEZES, Julio Cesar. Estação Digital. Trabalho apresentado em seminário no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, 1997.
- SARTORI, Josima e outros. Usando a Porta Paralela do Micro PC. Revista Brasileira de Ensino de Física. Volume 17, n.º 2, junho, 1995.
- SCARIM, J. Luiz. Digitalização e Conversão Raster/Vector de Mapas. Artigo apresentado na Revista Fator GIS - Jul./Ago./Set./1994 - n.º 6. Sagres Editora.
- WIESEL, J. Herstellung Digitaler Orthophotos. In: Bähr (edt.) Digitale Bildverarbeitung, Anwendung in Photogrammetrie und Ferner Kundung; Wichmann Verlag, Karlsruhe; ISBN 3-87907-149-7; pp.73-96, 1990.
- Manual da Câmera CCD, modelo KP-M1U, da Hitachi Denshi, Ltd.
- Manual do Ortoprojeto Wild Avioplan OR 1, da Wild - Heerbrugg, Inc.
- Manual da Placa Digitalizadora, DT55, da DATA TRANSLATION.
- Manual do Software Global Lab Image, da DATA TRANSLATION.
- Manual of Photogrammetry American Society of Photogrammetry. Fourth, 1980.
- Repórter 26, Leica, Março, 1991. Trazador Digital Vídeo DVP. p.12-14.

BIBLIOGRAFIA

BETHEL, James S.. Geometric Alignment and Calibration of a Photogrammetric Image Scanner. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 50, number 2, 1995.

COLLET, M. G., (Philips Research Laboratories) 1985. Solid State Image Sensors. Proceedings of SPIE. Volume 591. Solid State Images and their Applications (1985) p. 82-94.

CURRY, Sean. Calibration of an Array Camera. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Volume 52. n.5. January, 1986. p. 617-636.

FUCHS, C. and Ruwiedel S., 1992. Digitization and Rectification of Transparencies with the Analytical Plotter P3. Int. Arch. Photogrammetry Remote Sensing, Washington, D.C.. Volume XXIX, Comm. II, p. 18-24.

FRETIN, Bruno. Procedimentos para orientar um sistema de Aquisição de Imagem Digital. Trabalho final de graduação na ESIGELEC - Escola Superior de Engenheiros em Engenharia Elétrica. Rouen, França. 1996.

GOSDAL, Renato. Idec, Inc. Supervision/8 Image Capture Board Schematic (VG - 90-5-25). Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Informática Industrial e Engenharia Elétrica. CEFET-PR, 1993.

GÜLCH, E.. Calibration of CCD Video Cameras. Symposium ISPRS Commission I, ESA-SP25, Stuttgart, 1986.

HARALICK, Robert M. and Shapiro, Linda G., Glossary of Computer Vision Terms. Pattern Recognition Society. Volume 24, number 1, p. 69-93, 1991. Printed in Great Britain.

LEBERL, F., Vest, M. and Meyer, D., 1992. Photogrammetric Scanning with a Square Array CCD Camera. Int. Arch. Photogrammetry Remote Sensing, Washington, D.C., Volume XXIX, Comm. II, p. 358-363.

LINDLEY, Crayg A., Practical Image Processing in C: Acquisition, Manipulation, and Storage, John Wiley & Sons, Inc., 1991.

LUHMANN, Thomas. On Geometric Calibration of Digitized Video Images of CCD Arrays. ISPRS Intercommission Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data. Interlaken, June, 1987.

Anais do VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Manaus, 1990. Editado pelo INPE, Volume I, p. 255-258.

Manual da Câmera CCD GP-UR612, Panasonic. Broadcast & Television Systems Company. Division of Matsushita Electric Corporation of America.

Manual do Optronics 5040 Scanner/Laser Plotter (FPLT391). Optronics (An Intergraph Division). 7 Stuart Road, Chelmsford, Massachusetts 01824, US.

Manual do Scanner Vexcel VX3000 Image Scanning System Corporation. Geometric Accuracy Report. 1992.

Manual do Usuário do Scanner RM-1. Rastermaster Photoscanner. Wehrli & Associates Inc. 7 Upland Drive, Valhalla, New York 10595, USA, 1997.

Manual do Usuário do Software de Análise Matemática MATLAB. Produto da Math works.

MASCARENHAS, Nelson D. A.; Velasco, Flávio D.R.. Processamento Digital de Imagens. 2.^a edição. IV Escola Brasileiro-Argentina de Informática, Termas de Rio Hondo, Argentina, 1989.

Revista "Advanced Imaging - Solutions for the Eletronic Imaging Professional". Volume 11, número 11. Novembro, 1996.

Revista ES (Edmund Scientific), número 16N1, 1996. Catálogo de Componentes Óticos. Edmund Scientific Company. 101 East Gloucester Pike, Barrington, NJ, 08007-1330, USA.

SCHALKOF, Robert J.. Digital Image Processing and Computer Vision. John Wiley & Sons Inc., 1989.

SCHILDT, Herbert. Manual de Programação Turbo C++ para o ambiente Windows, Editora Mc Graw Hill, Berkeley, USA, 1990.

WESLEY, Addison. Digital Image Processing. 2.^a Edição. Publishing Company, 1987.